DIE NATURWISSENSCHAFTEN

28. Jahrgang | 7. Juni 1940 | Heft 23

Polyploidie und Pflanzenzüchtung[1]).

Von F. SCHWANITZ, Rosenhof bei Ladenburg/Neckar.

Bei allen sich sexuell fortpflanzenden Organismen findet sich ein Kernphasenwechsel. Man unterscheidet hierbei eine Haplophase und eine Diplophase. Die Zellen der Haplophase besitzen einen einfachen (haploiden) Chromosomensatz. Die Haplophase wird durch die Befruchtung, die Verschmelzung von 2 haploiden Gameten, abgeschlossen. Dadurch wird eine diploide Zygote gebildet, die 2 haploide Chromosomensätze besitzt. Die Diplophase endet mit der Reduktionsteilung, in deren Verlauf die haploide Chromosomenzahl wieder hergestellt wird. Haplophase und Diplophase sind in den verschiedenen Klassen und Ordnungen des Pflanzenreiches sehr verschieden stark entwickelt. Bei den höheren Pflanzen herrscht die Diplophase vor, die Haplophase besteht nur aus sehr kleinen, wenige Zellen bzw. Zellkerne umfassenden Gebilden. Die für die Diplo- bzw. Haplophase einer Art charakteristische Chromosomenzahl kann dadurch verändert werden, daß einzelne Chromosomen oder auch ganze Chromosomensätze verdoppelt oder vervielfacht werden. Im ersten Fall spricht man von Heteroploidie, im zweiten von Polyploidie.

Die weitaus verbreitetste Form der Polyploidie ist die Tetraploidie, die Verdoppelung der beiden homologen Chromosomensätze, die in allen Zellen des diploiden somatischen Gewebes enthalten sind. Wesentlich seltener sind die Verdreifachung (Hexaploidie), die Vervierfachung (Oktoploidie) oder gar eine noch stärkere Vervielfachung des Grundchromosomensatzes. Bei solchen Pflanzen, bei denen der ganze diploide Chromosomensatz verdoppelt oder vervielfacht ist, kann eine Vermehrung durch Samen erfolgen. Denn in diesen Fällen kann ein jedes Chromosom bei der Reduktionsteilung einen homologen Partner finden, und es besteht demgemäß die Möglichkeit, daß Gonen mit dem halben Chromosomensatz des somatischen Gewebes gebildet werden. Damit ist die Voraussetzung dafür gegeben, daß diese Pflanzen normal fruchtbar sein und ihre Chromosomenzahl konstant auf die Nachkommenschaft übertragen können.

Dies ist dagegen nicht der Fall bei denjenigen polyploiden Pflanzen, die das $1^1/_2$fache, das $2^1/_2$fache usw. der Chromosomenzahl der diploiden Ausgangsform besitzen, bei den triploiden und pentaploiden Pflanzen, sowie bei den Pflanzen, bei denen nur ein Chromosom oder einige Chromosomen verdoppelt worden sind. Solche Pflanzen können nur durch Stecklinge, Pfropfreiser, Knollen u. dgl., also nur auf vegetativem Wege, vermehrt werden. Solche Formen haben demgemäß nur für die Züchtung von Pflanzen, die vegetativ vermehrt werden können, eine Bedeutung.

Bei den polyploiden Pflanzen müssen wir zwischen „Autopolyploiden" und „Allopolyploiden" unterscheiden. Autopolyploide entstehen durch Vermehrung der Chromosomenzahl einer reinen Art, Allopolyploide gehen aus der Vermehrung des Chromosomensatzes eines Art- oder Gattungsbastardes hervor. Autopolyploide spalten in der Nachkommenschaft auf, wenn die betreffende Ausgangsform heterozygot gewesen ist. Allopolyploide übertragen ihre Eigenschaften konstant auf die Nachkommenschaft, wenn die Chromosomensätze der Elternarten überhaupt nicht homolog gewesen sind. Bestand jedoch eine mehr oder minder große Homologie wenigstens zwischen einigen der elterlichen Chromosomen, so kann gleichfalls in der Nachkommenschaft eine gewisse Aufspaltung erfolgen.

Spontan entstandene polyploide Pflanzen sind bereits seit längerer Zeit sowohl in der freien Natur wie unter unseren Kulturpflanzen aufgefunden worden. Man hat ferner bereits früh eine Reihe von Methoden zur künstlichen Herbeiführung der Polyploidie gefunden. Es handelt sich hierbei vor allem um die Einwirkung von Temperaturschocks, von Chemikalien, von Verwundung und von Röntgenstrahlen auf somatische Zellteilungen oder auf die Reduktionsteilung. Die Wirkung aller dieser Methoden beruht nach den bisher vorliegenden cytologischen Untersuchungen darauf, daß die bereits im Gang befindlichen Zellteilungen gestört und zum Stillstand gebracht werden. Es unterbleibt dadurch vor allem das Auseinanderweichen der Chromosomen nach ihrer Teilung sowie die Bildung einer neuen Zellwand. Aus den verdoppelten oder vervielfachten Chromosomensätzen bilden sich dann Restitutionskerne, die entsprechend ihrer Entstehung die doppelte oder vielfache Zahl von Chromosomen enthalten wie der ursprüngliche Zellkern. Die Entstehung von Polyploiden aus Wundkallus vollzieht sich auf etwas andere Weise. Hier bilden sich polyploide Zellen dadurch, daß verwundete Zellen miteinander verschmelzen, daß dann Kernübertritte aus der einen in die andere Zelle erfolgen und daß sich schließlich diese in einem Zellraum vereinigten Zellkerne vereinigen. Liegen diese Zellen mit vermehrter Chromosomenzahl, wie es meist der Fall sein wird, in einem stark wachsenden Gewebe, so können aus ihnen mehr oder minder große Gewebeteile mit vermehrter

[1]) Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung (Erwin Baur-Institut) Zweigstelle Baden, Rosenhof bei Ladenburg/Neckar.

Chromosomenzahl hervorgehen. Da andererseits bei höheren Pflanzen auch in den Vegetationskegeln, in denen die größte Zahl von Zellteilungen vor sich geht, stets nur ein gewisser Prozentsatz von Zellen gleichzeitig in Teilung befindlich ist, so erhält man bei der künstlichen Auslösung der Polyploidie in der Regel Pflanzen, die teils normales diploides, teils polyploides Gewebe besitzen. Von den Blüten, die aus den polyploiden Gewebeteilen hervorgehen, kann man dann bei Selbstbestäubung oder Bestäubung mit dem Pollen anderer polyploider Blüten rein polyploide Samen und aus diesen einheitlich polyploide Pflanzen erhalten.

Fast alle Methoden, die für die Herstellung polyploider Pflanzen bekannt waren, hatten jedoch einen großen Nachteil: sie waren nicht sicher und zuverlässig genug, und die Zahl der polyploiden Pflanzen, die man mit ihrer Hilfe erhalten konnte, war recht gering. Damit aber hatten alle diese Verfahren für die Züchtungsforschung und vor allem für die Pflanzenzüchtung selbst nur einen recht beschränkten Wert. Denn bei vielen Kulturpflanzen sind infolge Selbststerilität oder starker Inzuchtschäden nach Selbstbefruchtung auch gut durchgezüchtete Sorten stark heterozygot. Man bedarf in diesen Fällen infolge der erblichen Uneinheitlichkeit sowohl für eine einwandfreie Analyse der physiologisch-ökologischen Leistungsfähigkeit und des landwirtschaftlichen Wertes der Polyploiden wie auch für die Züchtung polyploider Sorten eines Ausgangsmaterials, das aus einer größeren Anzahl von polyploid gemachten Pflanzen besteht.

Vor etwa 4 Jahren wurde nun von BLAKESLEE und AVERY (1) ein Verfahren ausgearbeitet, welches es ermöglicht, ohne allzu große Schwierigkeiten größere Mengen von Pflanzen polyploid zu machen. Durch die Einwirkung von sehr verdünnten wäßrigen Lösungen von Colchicin, einem aus der Herbstzeitlose (*Colchicum autumnale*) gewonnenen, sehr giftigen Alkaloid, auf junges, stark in Teilung befindliches Gewebe ist es zum mindesten in sehr vielen Fällen möglich, bei den behandelten Pflanzen in weitem Umfange eine Vermehrung des Chromosomensatzes herbeizuführen. Mit Hilfe dieser Methode der Colchicinbehandlung ist es möglich, die Polyploidie als neues Zuchtverfahren in der Pflanzenzüchtung anzuwenden.

Der Pflanzenzüchter hat an der Polyploidie natürlich nur insoweit Interesse, als durch sie Veränderungen an der Pflanze hervorgerufen werden, die den Wert der Pflanze für den Menschen in irgendeiner Weise steigern. Der Züchter will also vor allem wissen, welche Veränderungen infolge der Genomvermehrung im Ertrag der Pflanze und in ihrer Qualität, in ihrer Widerstandsfähigkeit gegenüber der Umwelt und gegenüber pflanzlichen und tierischen Schädlingen, in ihrer Entwicklungsgeschwindigkeit, in ihrer Fähigkeit zur Ausnutzung der Nährstoffe und in ihrer chemischen Zusammensetzung eintreten. Neben der Frage, ob und in welcher Weise die Leistungen der Pflanze durch die Polyploidie beeinflußt werden, interessiert den Züchter ferner noch das Problem, ob alle Pflanzen gleichartig auf die Genomvermehrung reagieren, ob sich also allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten für die Polyploidie finden lassen, oder ob sich jede Art, jede Varietät, jede Linie, kurzum jeder irgendwie verschiedene Genotypus verschieden verhalten kann. Der Züchter will schließlich erfahren, welche Lehren sich aus dem bisher vorliegenden Tatsachenmaterial für die Pflanzenzüchtung ziehen lassen.

Gegenüber der großen Zahl der bereits bekannten und cytologisch mehr oder weniger eingehend untersuchten polyploiden Pflanzen liegen verhältnismäßig wenige Untersuchungen über die durch die Polyploidie bewirkten physiologischen Veränderungen der Pflanzen und die dadurch hervorgerufene Wandlung der Leistungsfähigkeit vor. Es ist aber doch auf Grund dieser wenigen Untersuchungen bereits möglich, einen ersten Einblick in die Veränderungen zu erhalten, die die Pflanzen infolge der Genomvermehrung erfahren.

Eine erhebliche Vergrößerung erfährt bei Genomvermehrung in der Regel die *Zellgröße*. Der Grad der Zellvergrößerung ist jedoch bei den einzelnen Arten verschieden. So stellte v. WETTSTEIN (2) bei der Untersuchung verschiedener Laubmoosarten fest, daß der Zellvergrößerungsindex $\varkappa$, der das Maß der Zellvergrößerung bei Verdoppelung des Genoms wiedergibt, deutlich artspezifisch ist. Dieser Zellvergrößerungsindex beträgt z. B. bei *Physcomitrella patens* 3,94, bei *Physcomitrium piriforme* 1,98, bei *Funaria hygrometrica* 1,76, bei *Bryum caespitum* 1,45 und bei der Lebermoosart *Anthoceros laevis* sogar nur 0,5. Nicht nur die einzelnen Arten verhalten sich hier verschieden, v. WETTSTEIN konnte bei den von ihm untersuchten Laubmoosarten feststellen, daß auch die einzelnen Stämme der gleichen Art deutlich verschiedene Zellvergrößerungskonstanten besitzen. Diese Befunde zeigen, daß der Grad der Zellvergrößerung nach Genomverdoppelung offenbar von dem Genotypus der betreffenden Form abhängt.

Ähnliche artspezifische Unterschiede im Verhalten gegenüber der Genomvermehrung zeigen *Chloroplastengröße und Chloroplastenzahlen*. Die Chloroplastengröße zeigte bei einigen Moosarten: *Bryum caespitium, Funaria hygrometrica, Physcomitrium piriforme* u. a. keine Veränderung durch die Genomverdoppelung. Bei anderen Arten dagegen: *Physcomitrium eurystomum, Mnium hornum* und *M. rostratum* trat bei den polyploiden Pflanzen eine Zunahme der Chloroplastengröße ein. Auch bei höheren Pflanzen wurde als Folge der Polyploidie teils eine Zunahme, teils ein Gleichbleiben der Chloroplastengröße beobachtet.

Die Zahl der Chloroplasten kann gleichfalls durch die Polyploidie beeinflußt werden. Eine Steigerung der Chloroplastenzahl wurde von GERASSIMOV (3) bei *Spirogyra*, von WINKLER (4)

bei *Solanum lycopersicum* und von UFER (5) bei *Cleome spinosa* festgestellt. Im letzten Falle war das Verhältnis der Chloroplastenzahl der Diploiden zu der der Gigaspflanzen etwa wie 2 : 3. v. WETTSTEIN fand bei der Laubmoosart *Amblystegium serpens* bei jeder Verdoppelung des Genoms eine Zunahme der Chloroplastenzahl im Verhältnis 1 : 1,8 : 4,37, desgleichen bei *Bryum cirratum* eine Erhöhung der Chloroplastenzahl im Verhältnis von 1 : 1,6. SCHWANITZ (6) stellte für junge Zellen von *Funaria hygrometrica* bei Verdoppelung des Genoms eine Steigerung der Chloroplastenzahl im Verhältnis von 1 : 1,32 fest, die nahe verwandte Art *Physcomitrium piriforme* zeigte dagegen keine Veränderung der Chloroplastenzahl. Auffällig ist das Verhalten der Allopolyploiden aus diesen beiden Arten. Diese besaßen nämlich stets eine weit höhere Chloroplastenzahl als die Autopolyploiden der gleichen Polyploidiestufe.

Auch die Veränderungen, die die Chloroplasten durch die Genomvermehrung erfahren, hängen also auch von der genetischen Konstitution der betreffenden Pflanze ab.

Eine *Zunahme des Chlorophyllgehaltes* im Verhältnis von 4 : 3 als Folge der Genomverdoppelung konnte v. WETTSTEIN bei *Bryum caespitium* feststellen. Aus den Untersuchungen konnte mit verhältnismäßig großer Wahrscheinlichkeit geschlossen werden, daß der größere Chlorophyllgehalt der polyploiden Pflänzchen auf stärkere Färbung der einzelnen Chloroplasten zurückzuführen ist.

Über die *Beeinflussung der Größe der Pflanzen* sowie der pflanzlichen Organe liegt eine ganze Reihe von Angaben vor. Fassen wir diese zusammen, so können wir als Regel herausstellen: die Genomvermehrung bewirkt eine Vergrößerung und Vergröberung des Wuchses der Pflanzen. Die Blätter werden größer, vor allem breiter, fleischiger und häufig dunkler (Fig. 1). Auch die Blüten werden größer, und ihre Färbung wird in der Regel intensiver (Fig. 2). Sprosse und Stengel werden dicker und derber (Fig. 3). Diese Vergrößerung der polyploiden Pflanzen entspricht im allgemeinen jedoch keineswegs der Vergrößerung der Zellen. Die polyploiden Pflanzen werden demnach zum mindesten häufig von einer geringeren Zahl von Zellen aufgebaut als die diploiden. Bei stärkerer Genomvermehrung nimmt die Zahl der Zellen sogar so stark ab, daß auch eine Verringerung der Größe der Pflanzen eintreten kann. Diese Größenabnahme als Folge der Polyploidie scheint bei den einzelnen Pflanzen verschieden zu sein und auf verschiedenen Polyploidiestufen einzusetzen. Diese geringere Zellenzahl der Polyploiden wird zuweilen damit erklärt, daß bei den polyploiden Pflanzen die Zellteilungen langsamer verlaufen. Diese Erklärung erscheint sehr fragwürdig, da in vielen Fällen Pflanzen verglichen wurden, die ihr Wachstum bereits abgeschlossen hatten. Hier dürfte es sich vielmehr um einen noch näher zu analysierenden regulativen Vorgang handeln, durch den bewirkt wird, daß polyploide Pflanzen ihr Wachstum nach einer geringeren Zahl von Zellteilungen abschließen als ihre diploiden Ausgangsformen.

Für die *Teilungsgeschwindigkeit der Zellen* wurde von DÖRRIES-RÜGER (7) an den Auto- und Allopolyploiden von *Funaria hygrometrica* und *Physcomitrium piriforme* bei Genomvermehrung

Fig. 1. Außenblätter von chinesischem Kohl (*Brassica chinensis*). Links Blatt einer diploiden, rechts Blatt einer tetraploiden Pflanze.

zunächst eine Zunahme, bei höheren Polyploidiestufen jedoch eine Abnahme der Zellteilungsrate

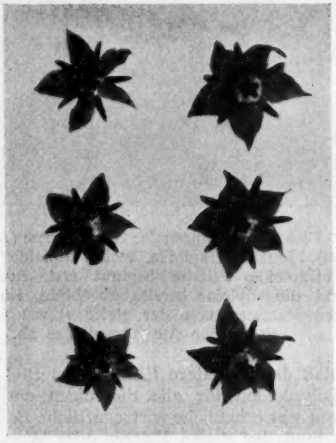

Fig. 2. Blüten von Gurkenkraut (*Borrago officinalis*). Linke Reihe Blüten von diploiden Pflanzen, rechte Reihe Blüten von tetraploiden Pflanzen.

beobachtet. Nur bei den balancierten Allopolyploiden, die von beiden Eltern gleiche Genommassen empfangen hatten, erfolgte bis zu der höchsten möglichen Polyploidiestufe eine Steige-

rung der Teilungsrate. HEILBRONN (8) konnte bei Sporen polyploider Farne eine raschere Keimung beobachten. Eine Abnahme der Wachstumsgeschwindigkeit infolge der Polyploidie wurde von SÖRGEL (9) für *Allomyces Kniepii* festgestellt.

Über die Beeinflussung der *Entwicklungsgeschwindigkeit* durch die Polyploidie liegen gleichfalls sehr verschiedene Angaben vor. Der normale Effekt der Genomverdoppelung ist langsameres Wachstum und erheblich späteres Blühen und Fruchten der Polyploiden (vgl. Fig. 3). Es ist

Fig. 3. Gleichalte Pflanzen der Gartenkresse (*Lepidium sativum*). Links tetraploide, rechts diploide Pflanze. Die tetraploide Pflanze beginnt erst zu blühen, während die diploide bereits abgeblüht ist. Beide Pflanzen stammen von der gleichen mit Colchicin behandelten Ausgangspflanze ab.

klar, daß dieser spätere Eintritt des Blühens bei den Polyploiden für alle diejenigen einjährigen Pflanzen sehr erhebliche wirtschaftliche Bedeutung haben muß, bei denen Blätter oder Wurzeln genutzt werden und bei denen der Eintritt des Schossens der Nutzung ein Ende macht, wie bei Salat, Spinat, Kresse und Radieschen. Durch die Polyploidie kann in diesem Falle die Zeit der Nutzung erheblich verlängert werden. Es sind jedoch auch einige Ausnahmen von dieser Regel bekannt geworden: Bei *Petunia violacea* konnten KOSTOFF und KENDALL (10) für die tetraploiden Pflanzen ein stärkeres Wachstum und einen um 8 Tage früheren Eintritt des Blühens beobachten. HESSE (11) fand bei *Petunia axillaris* als Folge der Tetraploidie ein geringes Vorauseilen in der Keimung. Dieser Vorsprung wurde jedoch von den diploiden Pflanzen später wieder eingeholt, ja diese kamen sogar einige Tage früher zum Blühen.

Einige Beobachtungen liegen ferner über die Beeinflussung der *osmotischen Werte* vor. BECKER (12) stellte für die polyploiden Reihen von *Funaria hygrometrica* und *Physcomitrium piriforme* und ihren Kreuzungen ein Absinken der osmotischen Werte fest. Dieses Absinken war bezeichnenderweise bei den balancierten Allopolyploiden bei weitem nicht so stark wie in den autopolyploiden Reihen. SCHLÖSSER (13) konnte bei höheren Pflanzen, und zwar bei tetraploiden Winterrübsen und tetraploiden Wildtomaten, gleichfalls ein starkes Absinken der osmotischen Werte verzeichnen. Dagegen liegen nach HESSE bei den tetraploiden Pflanzen von *Petunia axillaris* die osmotischen Werte nur wenig niedriger als bei den diploiden Pflanzen.

Das Absinken der osmotischen Werte dürfte vor allem durch den höheren Wassergehalt bedingt sein, den die Polyploiden häufig aufweisen. Ein solcher höherer Wassergehalt wurde von KOSTOFF und AXAMITNAJA bei autotetraploiden Pflanzen von *Lycopersicum esculentum* (14) und bei allopolyploiden Nicotianasippen (15), von SCHLÖSSER bei tetraploiden Sippen von Wild- und Kulturtomaten und von Winterrübsen beschrieben. In anderen Fällen wurde nur eine geringe Erhöhung des Wassergehaltes, so von HESSE bei *Petunia axillaris*, oder gar keine Erhöhung des Wassergehaltes beobachtet, das letztere von KUDRJAWZEWA (16) bei tetraploidem Kohl und von KOSTOFF und AXAMITNAJA bei *Petunia*. Der Transpirationskoeffizient wurde bei der allopolyploiden *Raphanobrassica* untersucht. Hierbei wiesen die polyploiden Pflanzen einen erheblich niedrigeren Wert auf als die Elternarten. Dieser Befund wurde damit erklärt, daß die Oberfläche der Wurzelhaare bei den Polyploiden im Verhältnis kleiner geworden sei.

Die Zunahme des Wassergehaltes und das Absinken der osmotischen Werte kann für die Widerstandskraft der Pflanzen gegenüber ungünstigen Außenbedingungen von Nachteil sein. So fand SCHLÖSSER eine herabgesetzte Frostresistenz bei triploiden und tetraploiden Sippen von Wildtomaten (*Lycopersicum cerasiforme, L. racemigerum*). Im Gegensatz dazu stellte KOSTOFF (17) fest, daß tetraploide Tomatenpflanzen der Sorte „Micado" 10stündige Einwirkung von Temperaturen von $-5°$ ertrugen, während diploide Pflanzen der gleichen Sorte bei $-1°$ bereits nach 2 Stunden abgestorben waren. Auch hier findet man also ein durchaus verschiedenes Verhalten sogar bei naheverwandten Formen.

Eine *Schwächung der Widerstandskraft* der Polyploiden beobachtete auch HEILBRONN (18):

Haploide Prothallien von *Polypodium aureum* vertrugen eine maximale Wassertemperatur von 55°, diploide dagegen nur eine solche von 50°. Auch gegenüber einer 0,5proz. Chloralhydratlösung zeigten die haploiden Pflänzchen eine weit größere Widerstandskraft als die diploiden.

Eine Verminderung der Vitalität bei den Polyploiden spricht sich vor allem auch in einer zum Teil recht erheblichen *Herabsetzung der Fruchtbarkeit* aus. Diese Verminderung der Fruchtbarkeit äußert sich einmal in der Ausbildung kleinerer Früchte. Solche verkleinerten Früchte werden z. B. für die tetraploiden Rassen von Kulturtomaten (*Lycopersicum esculentum*) und von schwarzem Nachtschatten [JØRGENSEN (19)] wie für die tetraploiden Pflanzen des Stechapfels [*Datura stramonium*] [BLAKESLEE (20)] beschrieben. Ferner ist für die polyploiden Rassen zahlreicher Arten auch ein sehr viel geringerer Samenansatz bekannt. Auch hier gibt es jedoch eine Reihe von Ausnahmen von dieser Regel. So werden von KOSTOFF und KENDALL (21) tetraploide Tomaten beschrieben, die im Ertrag die diploiden Pflanzen erreichen, in der Qualität der Früchte aber sehr erheblich übertreffen. Die Zahl der Samen soll allerdings auch hier vermindert sein. In anderen Fällen ist jedoch auch die Samenzahl normal. So stellten LINDSTROM und HUMPHREY (22) bei *Lycopersicum racemiflorum* fest, daß die Tetraploiden erheblich größere Früchte als die Diploiden und dabei guten Samenansatz aufweisen. Ein völlig normaler Samenansatz wird von SHCHAVINSKAYA (23) für tetraploiden Kohl beschrieben, das gleiche fand LEVAN (24) bei Schnittlauch. Bei oktoploidem Kohl ist nach SHCHAVINSKAYA (25) dagegen die Fertilität sehr erheblich verringert.

Die Erscheinung, daß die Genomvermehrung nur bis zu einer bestimmten maximalen Polyploidiestufe durchzuführen ist, trifft man bei den künstlich hergestellten Polyploiden allgemein. Die maximale Zahl der Genome, die sich in einer Pflanze vereinigen lassen, scheint spezifisch zu sein; bei höheren Pflanzen konnte bisher höchstens eine Verachtfachung des Ausgangsgenoms erzielt werden, bei allopolyploiden Moosen war es dagegen möglich, die 16fache Genommasse der Ausgangsform in einer Pflanze zu vereinigen. Mit zunehmender Polyploidie sinkt in der Regel die Vitalität ab, und auf der höchsten erreichbaren Polyploidiestufe zeigen die Pflanzen häufig bereits starke Entwicklungsstörungen, starke Anfälligkeit und vor allem stark verminderte oder völlig verlorengegangene Fertilität.

Eine *Zunahme der Selbstfertilität* als Folge der Polyploidie wurde bei mehreren stark selbststerilen Arten: *Allium nutans* und *Allium schoenoprasum* [LEVAN (26)] sowie bei *Campanula persicifolia* [GAIRDNER (27)] beobachtet. Bei anderen Arten, z. B. *Beta vulgaris* und *Raphanus sativus*, fand SCHWANITZ (28) keine Veränderung der Selbststerilität gegenüber den diploiden Pflanzen.

Für die Züchtung besonders bedeutsam ist die Tatsache, daß durch die Genomvermehrung unter Umständen die *Bastardierungsfähigkeit* einer Art mit anderen Arten sehr erheblich *gesteigert* werden kann. So konnte von KARPECHENKO (29) gezeigt werden, daß bei der autotetraploiden *Brassica oleracea* die Kreuzungsfähigkeit erheblich heraufgesetzt ist. Die tetraploide *Brassica oleracea* ergab bei Kreuzung mit 9 verschiedenen Cruciferenarten mit einer Ausnahme stets einen gegenüber der diploiden *B. oleracea* sehr erheblich höheren Samenansatz, der in einem Falle, bei Kreuzung mit *B. carinata*, das Hundertfache der entsprechenden Kreuzung mit diploidem Kohl betrug. Auch bei anderen Pflanzen [KARPECHENKO (30)] ergaben sich durch die Polyploidie die Möglichkeit, Artkreuzungen durchzuführen, die sonst nicht möglich sind. So wird der Bastard *Triticum dicoccum* × *Aegilops ventricosa* durch Verdoppelung der Chromosomenzahl *Tr. vulgare* „angeglichen" und gibt mit dieser Weizenart fertile Bastarde. Bei *Crepis capillaris* stellte NAVASHIN (31) fest, daß mit Hilfe von triploiden Pflanzen Artkreuzungen, die vorher nie gelangen, durchzuführen waren, wenn die Triploiden als weibliche Eltern verwendet wurden.

Verhältnismäßig selten ist die stoffliche Leistung, der *Ertrag* der polyploiden Pflanzen, untersucht worden. Auch hier wurden zum Teil sogar bei der gleichen Art recht verschiedene Ergebnisse erzielt. SCHLÖSSER (32) fand bei tetraploiden Tomaten eine erhebliche Steigerung der Erträge. Bei der Sippe U betrugen die Werte 4 Wochen alter tetraploider Pflanzen — die entsprechenden Werte der diploiden Kontrollpflanzen = 100 gesetzt — für das Frischgewicht 191,8, für das Trockengewicht 125 und für das Aschengewicht 116,5. Bei etwas älteren Pflanzen hatte sich das Verhältnis noch mehr zugunsten der Tetraploiden verschoben. Es wurden hier die Werte 257 für das Frischgewicht, 174 für das Trockengewicht und 155 für das Aschengewicht festgestellt. Dagegen fand FABERGÉ (33) bei den von ihm untersuchten tetraploiden Tomatensippen keine höhere stoffliche Leistung als bei den Diploiden. Eine erhebliche Verminderung der Stoffproduktion fand HESSE bei der tetraploiden Petunia axillaris.

Eine erhebliche Änderung in der *chemischen Zusammensetzung* stellten KOSTOFF und AXAMITNAJA bei tetraploiden Tomaten fest, bei *Petunia* konnten derartige Unterschiede dagegen nicht beobachtet werden.

Allopolyploide Nicotianapflanzen zeigten nach den gleichen Autoren gegenüber den diploiden F_1-Bastarden einen geringeren Stickstoff- und Proteingehalt, dagegen einen höheren Kohlehydrat- und Aschengehalt.

Tetraploider Kohl besaß nach SHCHAVINSKAYA einen fast doppelt so hohen Gehalt an Fruktose wie die diploiden Pflanzen, die sonstige stoffliche Zusammensetzung scheint hier jedoch nicht verändert zu sein.

Über die Beeinflussung des *Gehaltes an Vitamin C* liegen einige Ergebnisse vor. SANSOME und ZILVA fanden bei triploiden Äpfeln (34) einen erhöhten Gehalt an Vitamin C. Bei tetraploiden Tomaten (35) war der Gehalt an Vitamin C sogar annähernd doppelt so hoch wie bei den diploiden Pflanzen. Eine Untersuchung von KEY (36) ergab dagegen keine derartigen Unterschiede zwischen diploiden und tetraploiden Tomaten. NILSSON-EHLE (37) fand bei triploiden Äpfeln eine Erhöhung des Gehaltes an Vitamin C gegenüber den diploiden Sorten. Allerdings zeigten auch die verschiedenen diploiden Sorten einen sehr verschiedenen Vitamingehalt, so daß diploide Äpfel gefunden werden konnten, die einen höheren Vitamingehalt hatten als triploide. Vom Standpunkt des Züchters sehr bemerkenswert erscheint ferner die Tatsache, daß triploide Apfelsorten in der Regel eine sehr lange *Lagerfähigkeit* besitzen, also ausgesprochenes Winterobst sind, während die diploiden Sorten ausgesprochenes Sommer- und Herbstobst liefern, das nur eine sehr begrenzte Lagerfähigkeit hat.

Eine erhöhte *Widerstandskraft gegenüber Schädlingen* wird für polyploide Espen berichtet [MELANDER (38)]. Eine triploide Espe, die inmitten eines sonst stark durch *Polyporus* geschädigten Bestandes von diploiden Espen stand, zeigte keinerlei Befallsspuren.

Dieses Auftreten von Eigenschaften bei den polyploiden Pflanzen, die man bei den diploiden Ausgangsformen nicht finden kann, kann für die Züchtung von besonderer Bedeutung sein. Bei morphologischen Merkmalen, bei denen man das Auftreten neuer Eigenschaften leicht feststellen kann, sind bereits einige derartige Fälle bekannt geworden. So wurden von PRATASSENJA (39) bei den Allopolyploiden *Nicotiana rustica* × *N. tabacum* Typen beobachtet, bei denen die Hauptader beim Eintritt in das Blatt sich fächerförmig verzweigt und von MORINAGA und FUKUSHIMA (40) wurde bei triploiden und tetraploiden Formen von *Oryza sativa* Grannenbildung festgestellt. Es ist selbstverständlich, daß in gleicher Weise als Folge der Genomverdoppelung auch neue physiologische Eigenschaften auftreten können.

Des öfteren ist bei den künstlich hergestellten Polyploiden eine *erheblich höhere Variabilität* als bei den Diploiden gefunden worden. Dies gilt sowohl für die Autopolyploiden wie für die Allopolyploiden. So beobachtete KOSTOFF (41) in der Nachkommenschaft des Allopolyploiden *Nicotiana rustica* × *N. glauca* außerordentlich starke Schwankungen nicht nur in den morphologischen Charakteren, sondern auch im Alkaloid- und im Citronensäuregehalt. Es wurde zunächst in den Allopolyploiden nur das von *N. glauca* stammende Anabasin gefunden. In der Nachkommenschaft von solchen nur Anabasin enthaltenden Pflanzen wurden jedoch Pflanzen gefunden, die neben Anabasin auch Nicotin enthielten, und die Nachkommen dieser Pflanzen besaßen stets beide Stoffe. Beachtlich ist ferner, daß der Anabasingehalt bei den Allopolyploiden zum Teil erheblich — bis zu 3mal — höher war als bei *N. glauca* selbst. Auch im Citronensäuregehalt fanden sich sehr erhebliche Schwankungen. Die Tatsache, daß sich Pflanzen fanden, in denen ein hoher Citronensäuregehalt mit einem hohen Anabasingehalt und mit einem hohen Ertrag an vegetativer Masse vereinigt war, zeigt deutlich, welche hohe züchterische Bedeutung der Allopolyploidie zukommen kann.

Diese starke Variabilität von Allopolyploiden dürfte darauf beruhen, daß die Chromosomen der Elternarten wenigstens zum Teil mehr oder minder stark homolog sind. In solchen Fällen aber kann bei der Reduktionsteilung nicht nur eine Paarung der von der gleichen Elternart stammenden Chromosomen erfolgen, sondern es können sich auch homologe Chromosomen der einen Elternart mit homologen Chromosomen der anderen Elternart paaren. Da die miteinander gepaarten Chromosomen verschiedenen Zellkernen zugeteilt werden, können auf diese Weise Gonen entstehen, die genetisch mehr oder minder stark voneinander verschieden sind. Es ist klar, daß dann auch die aus der Verschmelzung dieser Gonen hervorgehenden Zygoten genetisch verschieden sein müssen. Die hiermit gegebene Möglichkeit einer starken Anreicherung bestimmter Chromosomen und der in ihnen gelegenen Gene in einzelnen Pflanzen kann zu einer besonders starken Ausbildung der von diesen Genen bestimmten Eigenschaften führen.

Es muß unter Umständen möglich sein, die physiologischen Veränderungen, die die Pflanzen durch die Genomvermehrung erfahren, auf die Veränderung weniger Grundfaktoren zurückzuführen. Ein erster Versuch in dieser Richtung wurde von SCHWANITZ unternommen. Die Untersuchungen gingen aus von der Erkenntnis, daß die starke Steigerung der Zellgröße dann zu mehr oder minder starken ernährungsphysiologischen Störungen führen muß, wenn Chloroplastenzahl und Chloroplastengröße nicht in dem gleichen Maße zunehmen. Es wird dann zu einem Mißverhältnis zwischen den ernährenden Organellen und dem ernährten Zellraum kommen, das eine Schwächung der Lebens- und Leistungsfähigkeit der Pflanzen zur Folge haben muß. Es wurde die Beziehung zwischen Zellgröße und Chloroplastengröße und -zahl an den bei *Funaria hygrometrica*, *Physcomitrium piriforme* und ihren durch Kreuzungen hergestellten Polyploidreihen untersucht. Es ergab sich hierbei, daß der Quotient $\frac{\text{ernährende Fläche}}{\text{verbrauchender Raum}}$ in allen Fällen mit dem Ansteigen der Polyploidie immer stärker abnahm. So wurde, wenn der Quotient für die Ausgangsform = 1 gesetzt wurde, für die Polyploidreihe von *Funaria hygrometrica* das Verhältnis 1 : 0,4, für die von *Physcomitrium piriforme* das Verhältnis 1 : 0,55 : 0,27 gefunden. Auffallend gering ist der Abfall des Quotienten bei der aus der Kreuzung zwischen den beiden Arten erhaltenen balancierten allopolyploiden Reihe.

Setzt man hier den Wert des bivalenten Bastards PiHy, in dem ein *Physcomitrium*- und ein *Funaria*-Genom vereinigt sind, = 1, so hat die Pflanze mit dem doppelten Genom dieser Form 2 Pi 2 Hy den gleichen Wert, und erst bei weiterer Verdoppelung des Genoms, bei 4 Pi 4 Hy, tritt ein Absinken auf 0,67 ein.

Diese rein rechnerisch ermittelten Verhältnisse entsprechen einer Reihe experimentell ermittelter Werte. So findet sich eine schöne Übereinstimmung zwischen dem Verlauf der Kurven für die osmotischen Werte und der Kurven für den Quotienten $\frac{\text{ernährende Fläche}}{\text{verbrauchender Raum}}$. Eine solche Übereinstimmung finden wir auch zwischen dem mehr oder minder starken Absinken der Werte des Quotienten und dem Nachlassen der Vitalität bei steigender Polyploidie. Auffällig ist jedenfalls auch die Übereinstimmung zwischen dem recht geringen Absinken der Quotientenwerte bei den balancierten Allopolyploidreihen und der bereits des öfteren erwähnten höheren Leistungsfähigkeit und Vitalität dieser Reihe gegenüber den Autopolyploiden.

Diese Übereinstimmungen weisen darauf hin, daß die Annahme, daß sich das physiologische Verhalten von Polyploiden aus dem Verhalten einiger Grundfaktoren ableiten läßt, durchaus berechtigt ist. Da, wie oben gezeigt, auch diese Grundfaktoren, wie Zellgröße und Chloroplastenzahl und -größe im einzelnen Falle recht verschieden durch die Polyploidie beeinflußt werden können, kann die verschiedenartige Veränderung der Vitalität und der verschiedensten physiologischen Leistungen aus einer verschiedenartigen Beeinflussung der Grundfaktoren abgeleitet werden.

Das Verhalten der künstlich hergestellten Polyploiden scheint in einem gewissen Gegensatz zu dem Verhalten der Polyploiden zu stehen, die wir aus der freien Natur kennen. Die experimentell erzeugten Polyploiden zeigen in der Regel Gigascharakter — Vergrößerung der Organe wie der ganzen Pflanze — und verminderte Vitalität. Die in der Natur aufgefundenen Polyploiden zeichnen sich im Gegensatz dazu häufig nicht durch größeren Wuchs aus, aber ihre Vitalität ist sehr oft gesteigert. Dies geht einmal daraus hervor, daß die Polyploiden in der Natur häufig Standorte mit extremen ökologischen Bedingungen besiedeln, an denen die entsprechenden diploiden Sippen oder Arten nicht mehr zu existieren vermögen. Ferner scheinen die Polyploiden nicht selten eine weitere geographische Verbreitung zu haben als die Diploiden. [Vgl. die Sammelreferate von MÜNTZING (42) und FISCHER und SCHWANITZ (43).] Aber auch hier finden sich genügend Ausnahmen von der Regel: Es sind Polyploide in der Natur aufgefunden worden, die größer sind als die entsprechenden Diploiden, und in einer Reihe von Fällen konnte beobachtet werden, daß die Diploiden an extremeren Standorten verbreitet sind als die Polyploiden.

Auch bei den polyploiden Pflanzen in der Natur ist demnach das physiologisch-ökologische Verhalten im einzelnen recht verschieden und durch den Genotypus der betreffenden Pflanzen bestimmt. Daß bei den künstlich hergestellten Polyploiden mehr Formen mit verringerter, bei den Polyploiden in der Natur mehr Formen mit erhöhter Vitalität gefunden werden, läßt sich ohne Schwierigkeiten damit erklären, daß die Polyploiden in der Natur bereits das Ergebnis langandauernder Auslesevorgänge sind. Durch die Auslese werden einmal alle Formen ausgemerzt, deren Lebenskraft wesentlich vermindert ist. Ferner kann durch die natürliche Auslese bei den Polyploiden allmählich eine größere Zahl von günstigen Allelen angehäuft werden als bei den Diploiden. Auf diese Weise läßt es sich erklären, daß bei den Polyploiden in der Natur sich häufig Formen mit einer gegenüber den Diploiden gesteigerten Vitalität finden. In diesem Zusammenhang sei auch erwähnt, daß in 2 Fällen eine allmähliche Zunahme der Vitalität bei künstlich hergestellten Polyploiden gefunden werden konnte. SCHLÖSSER (44) fand bei künstlich tetraploid gemachten Tomaten eine sehr geringe Fertilität. Wurden diese Pflanzen durch Stecklinge vermehrt, so stieg von Stecklings-„Generation" zu Stecklings-„Generation" die Fruchtbarkeit stärker an, bis sie schließlich nicht geringer war als die der diploiden Pflanzen. v. WETTSTEIN (45) hatte bei *Bryum caespiticium* durch Genomverdoppelung eine bivalente Rasse hergestellt. Diese Pflanzen waren ursprünglich fast völlig steril. In der Nachkommenschaft der bivalenten Pflanzen fand sich eine Pflanze, die, ebenso wie ihre vegetativ und sexuell erzeugten Nachkommen, ein langsames Ansteigen der Fertilität bis zu normaler Fruchtbarkeit zeigte. Beachtlich ist hierbei, daß die Zunahme der Fertilität einer Abnahme der Zellgröße bis fast zur Größe der Zellen der diploiden Pflanzen parallel ging, ein neuer Beweis für den bereits oben aufgezeigten Zusammenhang zwischen der Vergrößerung des Zellvolumens und der Abnahme der Vitalität. Diese Befunde zeigen also eindeutig, daß kein grundsätzlicher Unterschied zwischen den künstlich gewonnenen und den in der Natur aufgefundenen Polyploiden besteht.

Aus den angeführten Tatsachen geht hervor, daß die künstlich hervorgerufene Genomvermehrung unter Umständen ein wertvoller neuer Weg ist, um die Leistungsfähigkeit unserer Kulturpflanzen zu steigern. Ein schönes Beispiel für eine derartige Erhöhung des Wertes einer Kulturpflanze durch die Polyploidie und die dadurch verursachte Verdrängung der Formen mit geringerer Chromosomenzahl bringt DE MOL (46). Bis 1885 waren die Narzissensorten in Holland hauptsächlich kleinblütige 24chromosomige Formen. Von dieser Zeit an wurden diese durch die neu entstandenen stattlicheren 36chromosomigen Sorten verdrängt, und um die Jahrhundertwende traten endlich die großblütigen 48chromosomigen Formen auf, die wieder die 36chromosomigen Sorten verdrängten.

Allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten für die Polyploidie scheint es, wie oben gesagt, nicht zu geben. Bei den Pflanzen mit experimentell vermehrtem Genom ließ sich bei fast jeder der untersuchten Eigenschaften feststellen, daß diese bei der einen Pflanze so, bei der anderen völlig anders verändert werden. Dies ist bei verschiedenen Arten der Fall, es wurde aber auch für verschiedene Sorten und Stämme der gleichen Art festgestellt. Die Wirkung der Genomvermehrung ist also in einem jeden einzelnen Falle von der Konstitution des betreffenden Genoms abhängig. Nicht nur so starke Unterschiede, wie wir sie zwischen den Genomen verschiedener Arten finden, sondern auch schon die weit geringeren genetischen Verschiedenheiten zwischen Sorten, Varietäten und Linien der gleichen Art können die Ursache einer sehr verschiedenen Reaktion gegenüber der Genomvermehrung werden.

Diese Abhängigkeit der Art der Leistungsänderung bei Genomvermehrung von der qualitativen Beschaffenheit dieses Genoms zwingt den Züchter dazu, bei Anwendung der Genomvermehrung in der Pflanzenzüchtung überall dort, wo die Sorten genetisch stark uneinheitliche Formengemische sind, eine möglichst große Zahl von Pflanzen einer Sorte polyploid zu machen. Nur so kann man eine gewisse Sicherheit dafür haben, daß auch die in der betreffenden Population vorhandenen wertvollen Genotypen in ausreichender Menge miterfaßt werden. Bei Sorten dagegen, die genetisch bereits weitgehend ausgeglichen und einheitlich sind, wird es nötig sein, von einer Anzahl verschiedener Sorten je einige wenige Polyploide herzustellen, um so die Sorte zu ermitteln, bei der die Genomvermehrung von den günstigsten Folgen begleitet ist.

Wichtig ist ferner, die polyploiden Formen nicht als fertige Neuzüchtungen, sondern als Ausgangsmaterial für weitere Züchtung zu betrachten. Es kommt hierbei vor allem darauf an, die Möglichkeiten, die die Polyploiden durch ihre höhere Genzahl der Züchtung bieten, wirklich auszunützen. Es muß versucht werden, mit Hilfe von Kreuzung und Auslese die wertvollen Allele immer stärker anzuhäufen und auf diese Weise zu besonders leistungsfähigen Typen zu kommen, die in ihrem Ertrag und in ihrer Vitalität, zum mindesten aber in einer von beiden Eigenschaften den diploiden Ausgangsformen überlegen sind. Um dieses Ziel zu erreichen, wird es notwendig sein, eine größere Auswahl polyploider Ausgangspflanzen herzustellen, die als Grundlage für die weitere Züchtung dienen können. Man wird eine Steigerung der Leistungsfähigkeit durch planmäßige Züchtung auch dann versuchen müssen, wenn die Polyploidie zunächst nur zu einer Verminderung der Leistungen und damit des Wertes der Pflanze führt.

Nicht nur die Autopolyploidie, sondern auch die Allopolyploidie kann für die Pflanzenzüchtung von größter Bedeutung werden. Eine ganze Reihe von Kulturpflanzen (Weizen, Hauspflaume, Tabak u. a.) ist ja bekanntlich aus Bastarden zwischen zwei verschiedenen Arten entstanden, deren Genom sich spontan verdoppelt hatte. Für den Züchter besteht heute die Möglichkeit, durch Kreuzung von tetraploiden Stämmen der Elternarten diesen spontanen Artentstehungsvorgang planmäßig zu wiederholen. Durch Verwendung der wertvollsten Zuchtstämme als Ausgangsmaterial für diese Kreuzung dürften sich unter Umständen allopolyploide Bastarde erzielen lassen, die die spontan entstandenen Formen in ihren Leistungen weit übertreffen. Solche neuen allopolyploiden Pflanzen lassen sich zweifellos auch auf anderem Wege planmäßig herstellen, z. B. durch Einwirkung von Colchicin auf die durch Artkreuzung entstandene Zygote oder durch Herstellung eines normalen Artbastardes und nachfolgende Behandlung der Keimpflanze mit Colchicin.

Es wurde bereits erwähnt, daß durch die Polyploidie Artkreuzungen möglich gemacht oder erleichtert werden, die zwischen den entsprechenden diploiden Arten nicht oder nur schwer möglich sind. Die Artbastardierung, die in der modernen Pflanzenzüchtung immer größere Bedeutung gewinnt, kann durch die Polyploidie also wesentlich erleichtert und gefördert werden. Durch Kreuzung tetraploider Stämme verschiedener Arten miteinander ist es möglich, zu völlig neuen Kulturpflanzen zu kommen. Sind die Chromosomen der miteinander gekreuzten Arten wenigstens teilweise homolog, so wird es infolge von Allosyndese in der Nachkommenschaft zu einer mehr oder weniger starken Aufspaltung kommen, die unter Umständen bereits genügt, die für die weitere züchterische Arbeit notwendige Formenmannigfaltigkeit zu schaffen. Zeigen die Chromosomen der Elternarten dagegen überhaupt keine Homologie, die einen auch nur schwachen Austausch ermöglicht, so wird der Züchter zweckmäßig so vorgehen, daß er von jeder der beiden Elternarten zum mindesten 2 Stämme oder Sorten tetraploid macht und durch Kreuzung dieser miteinander zwei genetisch mehr oder minder voneinander verschiedene Allopolyploide erhält. Durch Kreuzung dieser verschiedenen Allopolyploiden miteinander kann er dann in der Nachkommenschaft die erwünschte Formenmannigfaltigkeit erhalten.

Die Tatsache, daß unter den Polyploiden in der Natur viele Typen sind, die gegenüber den Diploiden eine außerordentlich erhöhte Vitalität aufweisen, zeigt, daß die Genomvermehrung sehr günstige Voraussetzungen für die Steigerung der Leistungen schafft. Die Auslese in der Natur führt verständlicherweise nur zu einer Erhöhung der Lebens- und Anpassungsfähigkeit der Pflanze. Eine solche Verstärkung der Anpassungsfähigkeit an extreme und ungünstige Umweltverhältnisse wird zuweilen auch im Interesse des Züchters liegen.

Die planmäßige künstliche Auslese durch den Züchter wird aber daneben in erster Linie darauf

abzielen, Pflanzen mit höheren Ertragsleistungen, mit besserer Qualität und anderen wertvollen Eigenschaften zu erhalten. Nach den heute bereits vorliegenden Ergebnissen der Polyploidieforschung wird man mit Sicherheit annehmen dürfen, daß derartige Leistungssteigerungen bei Polyploiden durch die Züchtung zu erreichen sind, vorausgesetzt, daß man von einem genügend großen und genetisch genügend unterschiedlichen Ausgangsmaterial von polyploiden Pflanzen ausgeht. Durch die Polyploidie können also die Grundlagen für eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Pflanzen geschaffen werden, wie sie von diploiden Pflanzen niemals erreicht werden kann. Die Polyploidie wird daher in der Pflanzenzüchtung der nächsten Zeit eine immer größere Bedeutung erlangen.

Literatur.

1. J. Hered. **28**, 393—411 (1937). — 2. Z. indukt. Abstammgslehre **33**, 1—236 (1924). — 3. Z. allg. Physiol. **1**, 220 (1902). — 4. Z. Bot. **8**, 417—531 (1916). — 5. Diss. Hamburg 1927. — 6. Z. indukt. Abstammgs.-lehre **62**, 232—248 (1932). — 7. Z. indukt. Abstammgslehre **52** (1929). — 8. Verh. 5. inter. Kongreß f. Vererbgsw. Berlin 1927. — Z. indukt. Abstammgslehre Suppl.Bd. **2**. — 9. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl. N. F. **2**, 155—170 (1936). — 10. J. Genet. **24**. 165—178 (1931). — 11. Z. indukt. Abstammgslehre **75**, 1—23 (1938). — 12. Z. indukt. Abstammgslehre **60** (1931). — 13. Züchter **8**, 75—80 (1936). — 14. C. r. Acad. Sci. URSS **2**, 295—297 (1935). — 15. C. r. Acad. Sci. URSS **1**, 328—329 (1935). — 16. Zit. VAVILOV, Theor. Grundl. d. Pflzüchtg. Kap. 11. — 17. J. Genet. **36**, 447 (1938). — 18. Rev. Fac. Sci. Univ. Istanbul. **1**, 55 (1935). — 19. J. Genet. **19**, 133—211 (1928). — 20. Bot. Gaz. **76**, 339—373 (1923). — 21. Gartenbauwiss. **9**, 20—44 (1934). — 22. Proc. 6th int. Congr. Genet. N. J. **2**, 118—119 (1932). — 23. Trudy prikl. Bot. i pr. **2**, Nr 7, 13—36 (1937). — 24. Hereditas (Lund) **22**, 1 (1936/37). — 25. Trudy prikl. Bot. i pr. **2**, Nr 7 69—77 (1937). — 26. Hereditas (Lund) **22**, 278 (1936/37). — 27. J. Genet. **16**, 341 (1926). — 28. Züchter **10**, 278—279 (1938). — 29. Trudy prikl. Bot. i pr. **2**, Nr 7, 37—51 (1937). — 30. Bull. Acad. Sci. URSS., Cl. Sci. math. et natur., Sér. biol. **1938**, Nr 3, 693—694. — 31. Univ. California Publ. Agric. Sci. **2**, 377 (1929). — 32. Forsch.dienst **3**, 69 (1937). — 33. J. Genet. **33**, 265 (1936). — 34. Biochemic. J. **27**, 1935 (1933). — 35. Biochemic. J. **30**, 54 (1936). — 36. Biochemic. J. **27**, 152 (1933). — 37. Hereditas (Lund) **24**, 195 (1938). — 38. Hereditas (Lund) **24**, 189 (1938). — 39. C. r. Acad. Sci. URSS **19**, 525 (1938). — 40. Jap. J. of Bot. **9**, 71 (1937). — 41. Current Sci. **8**, 59 (1939). — 42. Hereditas (Lund) **21**, 263 (1935/36). — 43. Züchter **8**, 225 (1936). — 44. Biol. Zbl. **54**, 436 (1934). — 45. Z. indukt. Abstammgslehre **74**, 34 (1937). — 46. Proc. Acad. v. Wet. Amsterdam **25**, 1 (1922).

Der heutige Stand der Geiseltalforschung.

Rückblick und Ausblick.

Von JOHANNES WEIGELT, Halle a. d. S.

[Schluß[1]).]

Haare.

Anschließend an die Beschreibung der erhaltenen Gewebsreste stellt VOIGT (22) seine Beobachtungen über das Haarkleid der Säugetiere zusammen, die erstaunliche Einzelheiten des Feinbaus enthüllen. Bei der Fledermaus *Cecilionycteris prisca* HELLER ist die Substanz der Haare zerstört, aber ihre Umrisse sind noch kenntlich, weil das widerstandsfähige Pigment der Rindenschicht der ursprünglichen Anordnung entsprechend projiziert wurde. Dementsprechend erscheint der Rumpf viel dunkler als die Flughaut. Bei dem schon erwähnten Exemplar des Paarhufers *Anthracobunodon* weist der Fellrest in der Kniekehle alle Feinheiten der Behaarung auf. Es finden sich Grannenhaare oder Borsten und Wollhaare und als Reste der Haut Epidermisgewebe und Drüsen. Die Borstenhaare zeigen an der Oberfläche des Markstranges die breiten Markzellen mit den Hohlräumen, die den zerstörten Zellkernen entsprechen. Die Wollhaare bestehen aus feinem, faserigem Gewebe mit zahlreichen eingestreuten Pigmentkörnchen.

Bei dem Urpferdchen zeigen sich auf vielen Knochen, besonders auf Schulterblatt und Becken, tief dunkle Striemung aus inkohlten Haaren.

Der spitzmausgroße Halbaffe *Microtarsiodes voigti* weist in der Bauchgegend gut erhaltene Flaum- und Wollhaare auf, die den perlschnurartigen Markkanal und die einzelnen Zellen der Rindenschicht gut beobachten lassen. In den Markzellen sind auffällig große Pigmentkörper angehäuft.

Bei *Ceciliolemur de la saucei* gelang der Nachweis von Flaumhaaren, Leithaaren, Grannenhaaren und Stacheln in der Nackengegend, wodurch er noch näher bei den Insektivoren einzureihen ist, als es Verf. schon annahm. Hier erwies sich die Erhaltung der Haare von diagnostischer Bedeutung.

Weichteile.

Zunächst beschrieb VOIGT (10) die bei den Fischen erhaltenen Weichteile. An über 100 Exemplaren macht sich die erhaltene Muskulatur als hellgelblich graue Masse kenntlich. Der Nachweis gelang bei 50 Exemplaren von *Thaumaturus*, an etwa 40 von *Anthracoperca* und an 10 von *Palaeoesox*. Unter dem Mikroskop zeigen die hellgelb durchsichtigen Fasern ausgezeichnete Querstreifung. Am häufigsten gelingt der Nachweis an den Neurapophysen des Rückens und zwischen den Flossenträgern. Auch Sehnen finden sich und der Übergang einer solchen in ein quergestreiftes Muskelbündel. Am häufigsten sind breite bandartige Muskelbündel mit zickzackförmig verlaufender Querstreifung, die an anderen Stücken auch gerade oder gebogen verläuft. Im polarisierten Licht verhalten sich die Muskeln wie rezente: dunkle isotrope Lagen wechseln mit hellen anisotropen Lagen der Muskelfibrillen ab. Auch die KRAUSEschen Zwischenscheiben sind gelegentlich zu erkennen, ebenso das den Muskel umgebende Sarcolemm. Die Muskulatur eines Exemplars von *Thaumaturus* scheint von Sporoblasten parasitischer Protozoen befallen zu sein.

An den Geiseltalfischen glückte weiter der Nachweis von Bindegewebe aus dem Labyrinth des Ohres im Be-

[1]) Vgl. Heft 22, S. 343.

reich des Sacculus, von Flossenhaut und Elastoidinfäden, von Periost und von Chromatophoren. Diese Körperpigmente wurden sowohl in der Gestalt von Melanophoren wie als Inhalt von Erythrophoren angetroffen. Schließlich zeigten sich Zerfallsprodukte des Plasmas in den Knochenzellen. Bei *Palaeoesox* ließ sich noch erkennen, daß der Rücken dunkler gefärbt war als die Bauchseite, ja beim Freilegen zeigte sich noch eine gewisse Zebrastreifung.

Der nächste Schritt war die palaeohistologische Untersuchung der fossilen Froschhaut [VOIGT (16)], die den ersten Nachweis fossil erhaltener tierischer Zellkerne aus präquartären Schichten erbrachte, und zwar mit wundervoller Klarheit. An den Epidermispräparaten läßt sich das Stratum corneum und germinativum gut unterscheiden. Häufig schimmern die Zellen des einen durch die des anderen durch. Während die Zellkerne beider ungefähr gleich groß sind, sind die noch im Wachsen befindlichen Zellen der tieferen Schicht kleiner. Die flachen, polygonalen, meist sechseckigen Zellen des Stratum corneum besitzen 25—30 μ Durchmesser. Häufig ist die Kittsubstanz zwischen den Zellgrenzen erhalten. Aus verhornten Epithelzellen entstandene Hornstückchen von 40 μ Länge, die systematische Bedeutung haben, treten gelegentlich auf. Die Zellen der Schichten des Stratum germinativum werden nach oben zu immer niedriger, flacher und größer, etwa zwischen 9 und 15 μ im Durchmesser. Durch einen stark lichtbrechenden Rand heben sich die Zellkerne besonders deutlich hervor. Auch Flaschenzellen mit stark verengtem Hals treten auf. Aber auch das unter dem Epithel liegende Corium ist noch erhalten und läßt sich palaeohistologisch auflösen in das Stratum spongiosum mit den Bindegewebszügen, das Stratum compactum, Drüsen, Blutgefäßbahnen, Melanophoren und Xantholeukophoren. Der Beweis, daß die Geiseltalfrösche grün waren, läßt sich histologisch führen. Diese Farbe entsteht ja aus gelben Körnern hinterlegt mit blauen Interferenzfarben auf schwarzem Untergrund. Dementsprechend lassen sich die Xantholeukophoren mit ihren stark lichtbrechenden Guaninkörnchen, umfaßt von den mit Melaninkörnchen gefüllten Fortsätzen der Melanophoren, noch gut erkennen. Sehr beachtenswert ist es, daß sich die Melanophoren meist im Zustand völliger Expansion befinden und nicht in Kontraktion, wie es sonst im Tode der Fall ist. Die postmortale Pigmentballung ist hintangehalten durch Asphyxie; die Anuren sind im Schlamm der austrocknenden Tümpel regelrecht erstickt.

Fig. 3. Melanophore der Froschhaut in Expansion. Grube Cecilie. × 650.

Auch an den Säugetieren aus der Braunkohle gelangen VOIGT (20) palaeohistologische Entdeckungen. Die Flughaut der Fledermäuse ist in Geweberesten überliefert. Es handelt sich keineswegs bloß um Abdrücke des Umrisses. Man erkennt Hautfalten und von den Epithelzellen meist nur die ihnen eingelagerten Pigmentballen. Wundervoll erhalten ist der Netzknorpel des Ohres und das diesen überlagernde Epithel der Epidermis mit der Umrandung der einzelnen Zellen, den Zellkernen und den Pigmentballen. Auch Reste der Muskulatur von *Cecilionycteris prisca* HELLER sind mehrfach gefunden, in geradezu prächtiger Erhaltung an dem gleichen Exemplar, dessen Ohrweichteile überliefert worden sind. Die einzelnen Muskelbündel sind 30 μ breit, auf 100 μ Länge kommen 40 Querstreifen. Die Krauseschen Zwischenscheiben sind sichtbar. Das Bindegewebe des Coriums der Fledermäuse hat sich durch Auflösung und Quellung der leimgebenden Bindegewebsfasern zu bläschen- und kugelförmigen Gebilden verändert.

Fig. 4. Muskelpräparat des Paarhufers Anthracobunodon (Urschweinchen) × 750.

An den Skeleten mittelgroßer Säuger haben sich Weichteile nur an den am vollständigsten und besten erhaltenen Funden nachweisen lassen. Das Skelet eines Artiodactylen *Anthracobunodon* zeigt außer dem Mageninhalt und der Dünndarmfüllung Reste der Behaarung, der Haut und der Muskulatur in der Kniekehle des rechten Hinterbeins, sowie an der Wirbelsäule. Die andere Leiche, das schon erwähnte vorzüglich erhaltene Urpferdchen, also ein Perissodactyle, weist Reste der Muskulatur an einzelnen Rückenwirbeln und wohlerhaltenes Knorpelgewebe aus der Rippenregion auf. Stellenweise ist der Feinbau des hyalinen Knorpelgewebes mit den eingelagerten Knorpelzellen und ihren Teilungsstadien ebenso gut erhalten wie an rezentem Material. Bezeichnenderweise ist auch bei diesem Urpferdchen der Mageninhalt erhalten.

In einer weiteren Abhandlung schilderte VOIGT (24) die an Fischen, Amphibien und Reptilien aufgefundenen Weichteile. In der Schwarzen Kohle im Liegenden der Leichenfelder fanden sich zwei Fischreste, an denen alle Knochensubstanz durch Humussäuren aufgelöst war,

dagegen das Periost auf den Schuppen und Flossen erhalten blieb; es weist zahlreiche Melanophoren auf. Auch das Corium der Fischhaut läßt sich noch nachweisen. Weitere Mitteilungen betreffen quergestreifte Muskulatur von Fröschen, Hautreste des Altolms *Palaeoproteus klatti* HERRE, zum Teil mit Seitenlinie; Fettzellen und Bindegewebsreste von Krokodilen; Schuppen, Epidermis, Muskulatur, ja sogar rote Blutkörperchen von Eidechsen.

Bei der mikroskopischen Untersuchung eines auf Lackhaut übertragenen Fisches glückte VOIGT (25) der histologische Nachweis der bisher fossil unbekannten *Gordiaceen* und damit der erstmalige Nachweis des fossilen Vorkommens der Würmerklasse der *Nematophora* überhaupt, die zum Cladus der *Nemathelminthes* gehören. Die heute lebenden Formen sind wohl nur der wegen ihres Parasitismus noch überlebende Rest einer früher viel formenreicheren Gruppe, aber die eozäne Form lebte bereits parasitisch. Die einzige fossile Form ist höher spezialisiert als die rezenten Vertreter. Die Cuticula ist ganz ausgezeichnet erhalten. Das etwa 15 mm lange, knäuelförmig aufgewickelte Fragment eines ausgewachsenen Tieres fand sich in unmittelbarer Nachbarschaft von Schuppen und Wirbeln von *Thaumaturus spannuthi* VOIGT, der wohl als Wirtstier anzusprechen ist. Die charakteristische Subcuticula zeigt alle Feinheiten der Faserung ebenso gut wie rezentes Material.

Die Fasern schneiden sich unter Winkeln zwischen 35 und 50°. Die Fibrillenschichten zeigen auf 1 μ rund 2,8 Fasern, daher der Name *Gordius tenuifibrosus*. Wie das rezente Wasserkalb wird er von Käfern, die gefressen wurden, in die Raubfische hinübergewechselt sein.

Schließlich hat noch HILDEGARD BRENNER (31) an der quergestreiften Muskulatur von Käfern, dem von BEURLEN beschriebenen *Astacus*, den drei Fischarten *Thaumaturus*, *Palaeoesox* und *Anthracoperca*, von Frosch, Eidechse, Fledermaus, Anthracobunodon und dem Palaeohippiden exakte Fachhöhenmessungen vorgenommen und sie damit einer palaeophysiologisch-histologischen Würdigung unterzogen. Wie am rezenten Material läßt sich eine klare Beziehung zwischen der Höhe der Querstreifung und der Funktion und Frequenz des betreffenden Muskels herstellen. Wie am rezenten Material lassen sich Schwankungen in den Fachhöhen sowohl innerhalb einer Faser wie auch eines Muskels feststellen. Je rascher der Muskel reagieren muß, um so niedriger sind die Fachhöhen, um so schneller wechseln die A- (anisotropen) und die I- (isotropen) Schichten miteinander ab, von denen die letzteren den Ermüdungsstoff Milchsäure während der Kontraktion aus den A-Schichten aufnehmen, Glykogen neu aufbauen und speichern. Ausgemessen wurden nur erschlaffte Fasern. Die Ausmessung fand im polarisierten Licht statt.

Bakterien.

Bezüglich des Nachweises fossiler Bakterien hatte MRUGOWSKI (19) bei seiner Nachsuche auf unseren Lackfilmen besonders guten Erfolg. Ferner fanden sich freie Bakterien in den Kotballen von Krokodilen. Hier treten schlanke Stäbchen mit runden Ecken und elliptischer gestaltete Gebilde vom Aussehen von Bakteriensporen auf. An Färbemitteln wurden Fuchsin oder Methylenblau angewendet und Material vom Leichenfeld II, von Trichter Süd, Trichter NO, Trichter untere Sohle, Leichenfeld und Leonhardt untersucht. Es handelt sich um Bakterien, denn sie sind scharf umschrieben, sie weisen Stäbchenform auf und lassen sich im gleichen Präparat, wie in verschiedenen Koprolithen mehrfach nachweisen. Weiter fanden sich Bakterien in fossilen Geweben auf Lackfilm, besonders in der Fäulnis länger widerstehenden Teilen, wie den Tracheen der Käfer und in der Epidermis der Frösche. Auch in den Augen der in den Leichenfeldern gefundenen Fische sind die schlanken, stäbchenförmigen Gebilde häufig.

Es finden sich schlanke Stäbchen mit wenig gerundeten Ecken, plumpe kurze Stäbchen mit stark abgeschrägten Ecken. Einmal wurde dichotome Teilung, etwa wie beim rezenten Tuberkelbazillus, beobachtet. Kurzstäbchen entsprechen Kokken und wuchsen in Ketten, von denen eine in etwa 16 Gliedern zu sehen ist. Aber auch die Folgen der Lebenstätigkeit der Bakterien lassen sich in den Gewebsresten erschließen, sie löschten die Grenze der Kerne und Zellen in Teilen der Froschepidermis aus, so wie es die rezenten organischen Gewebe auch bei Bakterienbefall zeigen. Im Chitin der Tracheen finden sich Grabgänge, von Bakterien erzeugt.

Farben.

Verf. und NOACK (6) wiesen 1931 an grün gefärbten Blättern Chlorophyllderivate nach, NÜRNBERGER (1933) und FIKENTSCHER (1934) gelang der Nachweis von Korpoporphyrin, Ovoporphyrin wiesen Reptileier auf. Die mit Haut erhaltenen Frösche zeigten frisch noch eine grüne bis olivgrüne Farbe. Rötliche Farben zeigten die Flossen von *Thaumaturus* nicht selten. Prächtig ist die Erhaltung der Farben der Geiseltalkäfer.

Weichteile von Insekten.

VOIGT (27) beschrieb 1938 die an Insekten des Geiseltals erhaltenen Weichteile. Lackfilme gestatten die histologische Untersuchung des chitinigen Integuments mit Stacheln, Borsten, Maschen usw. Ausgezeichnet ist die Erhaltung der Tracheen mit ihrer Spiralstreifung, ja sogar die Feststellung des Tracheenkapillarnetzes auf der Muskulatur war möglich. Letztere ist nicht selten erhalten, meist erschlafft, gelegentlich auch in kontrahiertem Zustand. Vom Darm des Käfers

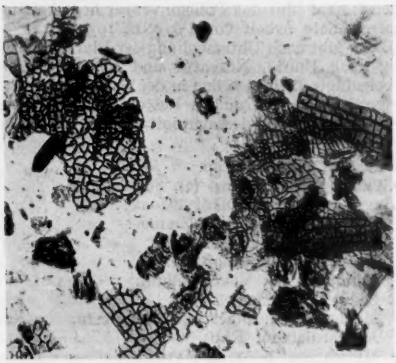

Fig. 5. Präparat aus Lophiodonkot mit Blattresten von Mono- und Dikotyledonen. Grube Cecilie. × 60.

Eopyrophorus liegt die Chitinauskleidung der Intima mit Schuppen und Stacheln vor. Das Darmsekret enthielt außer zahlreichen Pilzen eine kleine Blattlaus von nur 0,12 mm Größe. Spiralige und nierenförmige weißliche Gebilde erwiesen sich als erstarrte Sekretausfüllungen der Ektademien genannten Anhangsdrüsen der Hoden von Käfern, die in vier verschiedenen Gestaltungstypen auftreten. Auch die Gewebsstruktur ande-

rer Drüsen des Genitalapparates von *Eopyrophorus* ließ sich aufhellen. Chitin wurde chemisch von ABDERHALDEN (33: 109) nachgewiesen.

Nahrung.

Über den Nahrungshaushalt der Geiseltaltiere geben die Mageninhalte wie Darminhalt und Kot Auskunft. Wir fanden in Käfern Pollen, Epidermisfetzen, Pilze und Reste anderer Insekten (Facettenauge) als Nahrung, ferner Fischreste im Altolm und Altolmreste und Froschknochen in Fischen, Frosch- und kleine Krokodilknochen sowie Fischotolithen in Kotballen von Krokodilen, zerkaute Samen als Magen- und Darminhalt von *Anthracobunodon* und Vögeln, Gewölle von Krokodilen und Vögeln, angebissene Knochen und solche mit Nagespuren, Steine als Zubehör der muskulösen Kaumagen von Krokodilen und Vögeln, Käfer mit abgebissenem Hinterleib u. a. m.

Pflanzen.

Die Erhaltung der pflanzlichen Reste geht räumlich weit über die der tierischen Reste hinaus und läßt sich auch in Revieren durchführen, in denen Wirbeltierreste nicht vorkommen. Aber die Blätterkohlen unserer Fundschichten mit ihrer überaus schnellen Sedimentation sind besonders für solche Untersuchungen geeignet. Außerdem muß es unser Bestreben sein, die Umwelt der Geiseltalfauna synchron und im gleichen Raum zu erfassen. Aus unserer Arbeitsgemeinschaft beschäftigten sich mit den höheren Pflanzen E. HOFMANN (33:24) (5), HUNGER, der das Zeitz-Weißenfelser Revier auf seine pflanzlichen Einschlüsse hin untersuchte (33:266, 296), und BEYN in einer in den Nova Acta Leopoldina in Druck befindlichen Arbeit „Über die Einschaltung geformter Pflanzenreste in das Braunkohlenprofil des mittleren Geiseltals". Die darüber hinaus noch unbeschriebenen Funde, meist Blüten und Samen, werden demnächst von HUNGER bearbeitet werden. Wir haben Mazerationspräparate der gesamten Schichtfolge zu stratigraphischen Zwecken herstellen lassen. Für das Polleninventar liegt bereits die ausgezeichnete Arbeit von POTONIÉ 1934 vor.

BEYN gibt nach Untersuchung der Blattreste gleichzeitig nach Umriß, Nervatur und Kutikularstruktur die beigefügte Liste von den in der Geiseltalbraunkohle nachgewiesenen pflanzlichen Resten bekannt. Danach sind allein die Dikotyledonen mit mindestens 18 Familien nachweisbar:

Filicales: Lygodium sp.
Gymnospermae: Pinus (2), Sequoia.
Angiospermae: a) Dikotyledonae:
Fagaceae: Castanea, Quercus.
Juglandaceae: Juglans.
Bombaceae: cf. Ochroma.
Loranthaceae: Viscophyllum.
Sapotaceae: Bumelia.
Magnoliaceae: Blatt und Gefäßreste.
Anacardiaceae: Rhus.
Myricaceae: 2 Arten Myrica.
Myrtaceae: 2 Arten.
Lauraceae: 3 Arten von Cinnamomum, Eugenia, 2 Lauraceen-Arten.
Pittosporaceae: Pittosporium.
Sapindaceae: Dodonea.
Aquifoliaceae: Ilex.
Apocynaceae: Melodinus, Allamanda.
Caesalpinaceae: Cassia.
Salicaceae: Salix.
Moraceae: Ficus.
Sterculiaceae: Sterculia.

b) Monokotyledone:
Cyperaceae: Verschiedene Reste. Cyperus.
Gramineae: Verschiedene Reste.
Palmae: Fächerpalmen (Chamaerops), Fiederpalmen (Phoenicites).

Es konnte gezeigt werden, daß das Florenbild sowohl horizontal als auch vertikal ziemlich stark wechselt. Auch auf dem Sektor der Pflanzenwelt ist der Beweis, daß das Klima ein scharfes Wechselklima war, eindeutig zu führen. Neben feuchtigkeitsliebenden Pflanzen treten vor allem auch xerophytische Gräser auf, die zu einem Teil wohl auch aus den mehr steppenartigen Randgebieten des Braunkohlenbeckens stammen, wo sie von *Lophiodon* geäst wurden, wie die Analyse des Kotes beweist. BEYN konnte alle Vorteile der Voigtschen Lackfilmmethode ausnutzen und blattmorphologische und kutikularanalytische Untersuchungen am gleichen Objekt ausführen. Es handelt sich um die Verwertung histologischer Befunde zur systematischen Bestimmung fossiler Blattreste.

Die fossile Mikroflora des mittleren Geiseltales ist noch nicht vollständig untersucht. Es harrt noch so manches Präparat der Bearbeitung, und neue Bergungsarbeiten lassen sich am besten an eine später geplante Insektenschrabung anschließen. Die große Überlegenheit unserer Lackfilmmethode gegenüber der die Zusammenhänge zerstörenden, von uns zum Vergleich angewandten Mazerationsmethode begünstigte die wichtigen Entdeckungen von C. KÖCK (29). Er beschrieb einen blattaufsitzenden Thallophyten mit algenähnlichem Vegetationskörper, sternförmigen Haftorganen und spindelförmigen Brutkörpern. Weiter ließ sich die epiphytische Alge *Phykopeltis* aus der Familie der *Chroolepidaceae* nachweisen. Die Entwicklung vom scheibenförmigen Keimling bis zum einschichtigen Thallus ließ sich verfolgen. Eine weitere Schmarotzeralge ähnelt in ihrer Lebensweise *Cephaleuros*. Unter den Pilzen ließen sich verschiedene Arten der Gattung *Meliola* auffinden.

Die Hyphopoden sind gestielt, manchmal treten Dornen am Myzel auf, die Sporen wurden zum Teil keimend angetroffen.

Konidien, Konidienträger und zweiteilige Sporen werden auf einen Parasiten wie Meliola bezogen. Es ergibt sich ein tropisches bzw. subtropisches Klima. Die Kryptogamen entsprechen der Flora Asiens, Afrikas und Amerikas der entsprechenden Zonen. KÖCK schildert zum Schluß eine epiphylle Lebensgemeinschaft auf einem Blatt aus der Braunkohle des Geiseltales. Die beschriebene Mikroflora setzt sich aus terrestrischen Organismen von epiphytischer und parasitischer Lebensweise zusammen auf oft noch in Beziehung mit ihrer mikroskopischen Struktur erhaltenen Blattepidermen von Laub- und Nadelhölzern. Typisch submerse Algen und Pilze aber fehlen. Nur Kugelalgen sind vorhanden.

Reste von Blattfarbstoffen zeigen sich schon beim Ausgraben. In Teilen des Leichenfeldes II fanden wir ganze Flächen, die durch eine Kugelalge noch grün gefärbt waren, und die Blätterkohle des Trichters Cl V war in ihrem oberen Abschnitt grünlich gefärbt. Ebenso sind einzelne grüne Blätter nicht selten. Alles dieses allerdings verliert seine Farbe und „vergilbt" innerhalb einer halben Stunde. Die Erhaltung der Farbe ist nur bei Aufbewahrung in Flüssigkeit möglich. NOACK (6) nahm eine eingehende Untersuchung der Spektralbefunde vor. Es gelang ihm der Nachweis eines vermutlich nicht einheitlichen, nicht besonders stark abgebauten Chlorophyllfarbstoffs und einer Begleitsubstanz, die den Carotinoiden zugerechnet werden kann.

ZETSCHE und KÄLIN (33:108) untersuchten das aus den oft sechseckig gefelderten Blütenstaubansammlungen (Fimmenit) stammende Geiseltalpollenin: $C_{90}H_{121}O_{11}(OH)_8NS_7$. Das Geiseltalpollenin ist ähnlich wie der fossile Kautschuk regelrecht vulkanisiert, außerdem ist bei der Inkohlung Stickstoff aufgenommen.

Unsere Funde liegen im eigentlichen Herzen des bei dem Zurückgehen des Kreidemeeres sich ausgestaltenden europäischen Kontinents, der schon damals ökologisch in ein Mosaik kleinräumiger, sehr verschiedenartiger Einheiten zerfiel. Die Fauna liegt tiergeographisch selbständig im Inneren der schüsselförmig gebauten mitteldeutschen Hauptscholle, wie, viel großräumiger, die Tertiärfaunen Nordamerikas im Great Basin. Grasssteppen, Kiefernbelt, Macchie, Trockenwälder, Galeriewälder, Sumpfwald und Überschwemmungswannen verteilten sich an den Abdachungen der Schollenkanten, die sich bis zu Felslandschaften steigerten trotz der starken chemischen Verwitterung zur Zeit eines Wärmeoptimums. Die Selbständigkeit der Geiseltalfauna ergibt sich aus diesen palaeogeographischen Verhältnissen, weiter aber auch aus der spezifischen Altersstellung. Die Eozänfaune der süddeutschen und schweizerischen Fundorte wie die Westeuropas sind alle nicht altersgleich, und bei letzteren verrät sich viel mehr die Nähe von Küste und Brackwasser, vgl. das Vorkommen von Ganoiden in Messel bei Darmstadt. So haben die mühsamen Geiseltalgrabungen eine erfolgreiche Schlacht im Kampf gegen die Lücken der Überlieferung geschlagen. Aber noch immer klaffte in der Überlieferung der Landtiere des jüngeren Europa die Lücke zwischen Oberer Kreide und Eozän. Erst in diesem Jahr ist es uns gelungen, eine reiche Säugetierfauna des Paleozäns — die erste auf deutschem Boden — zu bergen. Diese unerwartet glückliche Entdeckung soll ihrer großen Bedeutung wegen in einem besonderen Aufsatz ihre Würdigung finden. Auch diese Funde bestätigen die tiergeographisch viel weitere Verbreitung von Formen, die heute eine weit verstreute, zerrissene und weit vom Fundgebiet gelegene beschränkte Verbreitung besitzen. · Die Paarhufer und Unpaarhufer bieten dankbares phylogenetisches Material, das sich in nicht ganz altersgleiche Rassen auflöst. Das Differenzierungstempo der Tiergruppen ist außerordentlich verschieden, bei den Amphibien und Eidechsen z. B. ist es weit fortgeschritten, die Insekten und Krokodile weisen noch mesozoische Anklänge auf. Wir können zusammenfassend sagen, daß es gelungen ist:

1. die Brauchbarkeit der Biostratonomie für Wirbeltierausgrabungen nachdrücklich zu belegen;

2. die Technik der Bergungsmethoden wesentlich zu verbessern;

3. durch Vereinigung aller Naturwissenschaften ein zusammenhängendes wirklich belegtes Lebensbild in ökologisch klimatologisch biologischem Sinne zu erarbeiten;

4. nachdrücklich zu zeigen, daß bei der Hauptfrage der zoologischen Forschung nach dem Werdegang der rezenten Fauna auf die Schaffung erdgeschichtlich zuverlässiger Daten nicht verzichtet werden kann;

5. die nationalen Belange der noch im Boden schlummernden Erkenntnisse des deutschen Bodens in erfolgreichen Wettbewerb mit ausländischen Funden zu setzen und ihre Bergung regional zu organisieren;

6. jedermann an den mächtigen Impulsen, die der Heimatboden aussendet, teilnehmen zu lassen, ihn freizumachen von den Zeitbegriffen, die uns bei der Kürze unseres Daseins anhaften, um das große Werden und Vergehen zu überschauen. Die rätselbergende Erdgeschichte ist eine umfassende und packende Wissenschaft, die ihre Jünger nicht wieder losläßt und von kosmischen Geschehnissen zu den Wurzeln unseres eigenen schollengebundenen Daseins führt. Siegreich leuchtet der Behauptungswille des Lebens durch die historische Folge anorganischen Geschehens.

Veröffentlichungen über das Geiseltal in „Nova Acta Leopoldina" NF.

1. J. WALTHER, J. WEIGELT, Die eozäne Lebewelt in der Braunkohle des Geiseltales 1, H. 1 (1931). (Enthält Verzeichnis älterer Arbeiten.) — 2. H. VETTER, Entwicklung und Lagerungsverhältnisse der Grabungen an der älteren Fundstelle der Grube Cecilie im Geiseltal 1, H. 1 (1931). — 3. FL. HELLER, Lophiodon munieri Filhol aus der eozänen Braunkohle des Geiseltales bei Halle a. S. 1, H. (1931). — 4. FL. HELLER, Ein Milchgebiß von Lophiodon munieri Filhol aus der eozänen Braunkohle des Geiseltales bei Halle a. S. 1, H. 1 (1931). — 4a. FL. HELLER, Fossile Eischalenreste aus der eozänen Braunkohle des Geiseltales bei Halle a. S. 1, H. 1 (1931). — 5. E. HOFFMANN, Epidermisreste und Blattabdrücke aus den Braunkohlenlagern des Geiseltales. 1, H. 1 (1931). — 6. J. WEIGELT, K. NOACK, Über Reste von Blattfarbstoffen aus der Geiseltal-Braunkohle (Mitteleozän) 1, H. 1 (1931). 15 Taf., 4 Abb., 96 S. RM 10.—. — 7. J. WEIGELT, Neue Primaten aus der mitteleozänen (oberlutetischen) Braunkohle des Geiseltales 1, H. 2/3* (1933). — 8. J. WEIGELT, Die Biostratonomie der 1932 auf der Grube Cecilie im mittleren Geiseltal ausgegrabenen Leichenfelder 1, H. 2/3* (1933). Preis des ganzen Heftes (17 Taf., 7 Abb., 243 S.) RM 12.—. — 9. J. WEIGELT, Die Geiseltalgrabungen des Jahres 1933 und die Biostratonomie der Fundschichten 1, H. 3/4* (1934). Preis des ganzen Heftes (14 Taf., 77 Abb., 287 S.) RM 16.50. — 10. E. VOIGT, Die Fische aus der mitteleozänen Braunkohle des Geiseltales 2, H. 1/2* (1934). Preis des ganzen Heftes (15 Taf., 23 Abb., 208 S.) RM 15.—. — 11. FL. HELLER, Amphilemur eocaenicus, ein primitiver Primate aus dem Mitteleozän des Geiseltales bei Halle a. S. 2, H. 3/4, Nr 3 (1935). — 12. FL. HELLER, Fledermäuse aus der eozänen Braunkohle des Geiseltales bei Halle a. S. 2, H. 3/4, Nr 3 (1935). 4 Taf., 1 Abb., 22 S. RM 3.25. — 13. K. HUMMEL, Schildkröten aus der mitteleozänen Braunkohle des Geiseltales 2, H. 3/4, Nr 5 (1935). 3 Taf., 42 Abb., 32 S. RM 4.—. — 14. A. PONGRÁCZ, Die eozäne Insektenfauna des Geiseltales 2, H. 3/4, Nr 6 (1935). 3 farb., 4 gewöhnl. Taf., 22 Abb., 88 S. RM 10.45. — 15. F. BETTENSTAEDT, W. BEYN, O. BUEBLE, M. FOCK, C. KÖCK, L. NÖTH, F. RAUPACH, W. RÖPKE, E. VOIGT, J. WEIGELT, Der heutige Stand der Geiseltalforschung, die Gliederung des Kohlenprofils der Gruben Cecilie und Leonhardt und die Horizontierung der Wirbeltierfunde 3, Nr 11 (1935). 2 Taf., 62 S. RM 8.—. — 16. E. VOIGT, Die Erhaltung von Epithelzellen mit Zellkernen, von Chromatophoren und Corium in fossiler Froschhaut aus der mitteleozänen Braunkohle des Geiseltales 3, Nr 14 (1935). — 17. K. LAMBRECHT, Drei neue Vogelformen aus dem Lutétien des Geiseltales 3, Nr 14 (1935). — 18. J. WEIGELT, Lophiodon in der oberen Kohle des Geiseltales 3, Nr 14 (1935). 15 Taf., 31 Abb., 64 S. RM 9.75. — 19. J. MRUGOWSKY, Über fossile Bakterien aus dem Mitteleozän des Geiseltales 3, Nr 17* (1936). 2 Taf. Preis des ganzen Heftes (32 S.) RM3.50. — 20. E. VOIGT, Weichteile an Säugetieren aus der eozänen Braunkohle des Geiseltales 4, Nr 22* (1936). — 21. FL. HELLER, Neue Beuteltierreste aus der

mitteleozänen Braunkohle des Geiseltales **4**, Nr 22* (1936). — 22. E. VOIGT, Über das Haarkleid einiger Säugetiere aus der mitteleozänen Braunkohle des Geiseltales **4**, Nr 22* (1936). — 23. BACHOFEN-ECHT, Das Vorkommen von Federn in der Braunkohle des Geiseltales **4**, Nr 22* (1936). Preis der ganzen Nummer (15 Taf., 50 S.) RM 8.50. — 24. E. VOIGT, Weichteile aus Fischen, Amphibien und Reptilien aus der eozänen Braunkohle des Geiseltales **5**, Nr 27 (1937). 5 Taf., 30 S. RM 4.—. — 25. E. VOIGT, Ein fossiler Saitenwurm (Gordius tenuifibrosus n. sp.) aus der eozänen Braunkohle des Geiseltales **5**, Nr 31* (1938). — 26. K. BEURLEN, Crustaceenreste aus der Geiseltalbraunkohle **5**, Nr 31* (1938). Preis der ganzen Nummer (3 Taf., 41 S.) RM 5.—. — 27. E. VOIGT, Weichteile an fossilen Insekten aus der eozänen Braunkohle des Geiseltales bei Halle/Saale **6**, Nr 34 (1938). 7 Taf., 3 Abb. RM 5.50. — 28. O. KUHN, Die Crocodilier aus dem mittleren Eozän des Geiseltales bei Halle **6**, Nr 39 (1938). 12 Taf., 19 S. RM 5.75. — 29. C. KÖCK, Fossile Kryptogamen aus der eozänen Braunkohle des Geiseltales **6**, Nr 40 (1939). 9 Taf., 29 S. RM 5.25. — 30. J. WEIGELT, Die Biostratonomie der Geiseltalgrabungen in den Jahren 1937/38 **7**, Nr 47* (1939). 5 Taf., 5 Abb. — 31. H. BRENNER, Palaeophysiologische Untersuchungen an der fossilen Muskulatur aus der eozänen Braunkohle des Geiseltales bei Halle/Saale **7**, Nr 47* (1939). 4 Taf. — 32. O. KUHN, Die Schlangen (Boidea) aus dem Mitteleozän des Geiseltales **7**, Nr 47 (1939). 3 Taf. Preis der ganzen Nummer RM 8.75. Die an anderen Stellen veröffentlichten Geiseltalarbeiten entnehme man: 33. J. WEIGELT, 10 Jahre Geologisch-Palaeontologisches Institut. Naturwiss. **93**. Halle 1939.

Die mit (*) bezeichneten Hefte und Nummern der Nova Acta Leopoldina enthalten außer den angeführten Veröffentlichungen noch weitere Beiträge anderen Inhalts.

Beim Bezug der Hefte gewährt die Kais. Leop. Car. Deutsche Akademie der Naturforscher, Halle (Saale), Friedrichstraße, folgenden Preisnachlaß: Naturforschern, Ärzten und Instituten 20%, Abonnenten der Veröffentlichungen 60%.

Nr. 33 (10 Jahre Geol.-Pal.-Institut) kann auf Wunsch kostenlos vom Geologisch-Palaeontologischen Institut der Universität Halle (Saale), Domstr. 5, angefordert werden.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Beziehung zwischen Triäthylsulfoniumjodid und Triäthylammoniumjodid.

Die Formeln $(C_2H_5)_3$ S. J. und $(C_2H_5)_3$ N. H. J. legen die Möglichkeit nahe, daß zwischen diesen Verbindungen eine kristallographische Beziehung besteht.

I. Triäthylsulfoniumjodid.

Kristallographische Angaben waren nicht auffindbar. Nur BEILSTEIN gibt an, daß es in rhombischen Blättchen kristallisiere. Das gekaufte Präparat wurde durch langsames Abdunsten kristallisiert. Trotz vieler Versuche waren nur Kristalle erhaltbar, die sehr ungenaue goniometrische Messungen ergaben.

Deshalb wurden zunächst Drehaufnahmen hergestellt. Auf Grund der ersten Aufnahmen wurde die Aufstellung gewählt, die zum Vergleich mit der Ammoniumverbindung geeignet ist. Die große tafelige Fläche wird dabei (100).

Es ergaben sich:

a = 15,81 Å (aus Äquatormessungen)
b = 8,69 Å (aus Äquatormessungen)
c = 7,35 Å (aus Äquatormessungen)
$a:b:c$ = 1,831:1:0,846.

Bei der Annahme des von BEILSTEIN angegebenen spez. Gew. von 1,56 ergab sich:

$z = 3{,}94 \sim 4$.

Die 3 Flächenzentrierungen wurden direkt bestimmt.

[011] = 11,55 Å ($\sqrt{b^2 + c^2}$ = 11,65 Å)

[101] = 17,55 Å ($\sqrt{a^2 + c^2}$ = 17,44 Å)

[110] = 17,63 Å ($\sqrt{a^2 + b^2}$ = 17,84 Å)

Die Raumzentrierung wurde als nicht vorhanden durch die große Zahl der Indizes $(h + k + l)$ ungerade erwiesen.

Auf Grund der Indizierung, die bei den meist sehr guten Filmen einwandfrei durchgeführt werden konnte, ergab sich: die 3 Pinakride sind nur in geraden Ordnungen vorhanden. Das Prisma $(h\,o\,l)$ ist normal, bei $(o\,k\,l)$ ist $(k + l)$ gerade, bei $(h\,k\,o)$ ist h gerade.

Es kommen daher in der rhombisch pyramidalen Klasse $C_{2v}{}^9$ — P_{na}, in der rhombisch dipyramidalen Klasse $V_h{}^{16}$ — P_{nma} in Frage.

Eine Unterscheidung der beiden Gruppen durch Ätzfiguren gelang nicht. Es blieb nur übrig, eine Unterscheidung mit Hilfe des Piezoeffekts zu versuchen. Es trat ein sehr schwacher Piezoeffekt auf, so daß $C_{2v}{}^9$ — P_{na} die wahrscheinlichste Raumgruppe ist.

Auf Grund der Röntgenbestimmung wurde nochmals eine ungefähre goniometrische Messung durchgeführt. Es sind die Flächen (101) und (210) vorhanden.

II. Beziehung zu Triäthylammoniumjodid.

Die Strukturbestimmung des Triäthylammoniumjodids wurde von ST. B. HENDRICKS[1]) durchgeführt, zugleich mit dem Chlorid und Bromid. Messungen waren bereits von WAGNER[2]) ausgeführt, der die Verbindung der dihexagonal oder hexagonal-pyramidalen Klasse zuordnete. HENDRICKS fand:

a = 8,78 Å, c = 7,74 Å, $z = 2$.

Von den auf Grund der Laue-Symmetrie (D_6h) möglichen 4 Raumgruppen nahm HENDRICKS C_{6v} (genau $C_{6v}{}^4$) an als am besten mit den kristallographischen Angaben übereinstimmend. Durch den Nachweis des Piezo-Effekts fand diese Raumgruppe eine weitere Bestätigung.

Zum Vergleich mit der Sulfoniumverbindung muß die orthohexagonale Aufstellung gewählt werden.

Triäthylammoniumjodid	Triäthylsulfoniumjodid
a = 15,21 Å (= 8,78 $\sqrt{3}$)	a = 15,81 Å
b = 8,78 Å	b = 8,69 Å
c = 7,74 Å	c = 7,35 Å
$a:b:c$ = 1,732:1:0,870	1, 831:1:0,846
$z = 4$	$z = 4$

Wie weit dieser zunächst festgestellten großen Annäherung der Parameter auch die Struktur entspricht, ist noch zu prüfen. Vor allem sollen weitere Untersuchungen auch ergeben, ob beim Ersatz der Äthylgruppen durch andere Gruppen ähnliche Beziehungen bestehen.

München, Mineralogisches Institut der Universität, den 18. Mai 1940. F. MUSSGNUG.

[1]) Z. Kristallograph. **67**, 472—481 (1928).
[2]) Siehe GROTH, Chem. Kristallogr. **1**, 170 u. 192, u. Z. Kristallograph. **43**, 176—178.

Der Einfluß von Elektroneninterferenzen auf die Abbildung von Kristallen im Übermikroskop.

Das elektronenmikroskopische Bild durchstrahlter Objekte gibt, wie schon in den frühesten Arbeiten über diesen Gegenstand zum Ausdruck kommt, im allgemeinen die Massenverteilung des Objektes[1]) wieder, wobei die Bildkontraste durch Streuung[2]) der Elektronen zustande kommen. Nachdem KIRCHNER[3]) gezeigt hatte, daß beim Durchgang eines Elektronenstrahls durch einen sehr dünnen Kristall die Intensität des ohne Richtungsänderung durchtretenden Primärstrahls bei Änderung der Neigung des Kristalls gegen die Strahlachse beträchtliche Schwankungen aufweist, wurde von BOERSCH[4]) später darauf hingewiesen, daß das Bild im Durchstrahlungselektronenmikroskop nicht eindeutig sei, da man nicht zwischen Dickenstruktur und

Kristallagerungsstruktur unterscheiden könne. Bei der dieser Feststellung zugrunde liegenden Untersuchung war durch verschiedene Ausblendung des vom Objekt ausgehenden Strahlenbündels in der Brennebene des Objektivs das elektronenmikroskopische Bild verändert worden.

Die gleichen Effekte treten auch bei der Objektivoptik mit fester Blende im Übermikroskop auf, wenn Kristalle abgebildet werden und der Winkel, unter dem sie von Elektronen durchstrahlt werden, nur sehr wenig geändert wird. Die Aufnahmen der oberen Reihe von Fig. 1 zeigen, wie die

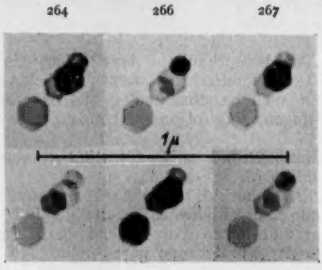

Fig. 1. III 264 ... 273/40. Chromrauch. Elektronenoptisch 19000:1. Abbildung 40000:1.

gleichen Kristalle in aufeinanderfolgenden Aufnahmen, zwischen denen der Einfallswinkel des Strahls sich nur um etwa den Wert 10^{-3} geändert haben konnte, einmal hell und einmal dunkel erscheinen können. Dieser Effekt tritt über einen großen Bereich der Einfallswinkel auf, denn bei einer zugeordneten Stereoaufnahme, bei der das Objekt gegen die in Fig. 1 festgehaltene Lage um 16° gegen die Strahlachse gekippt war, wurden nacheinander die in der unteren Reihe von Fig. 1 wiedergegebenen Bilder gewonnen, die untereinander sich ebenfalls nur durch eine Änderung des Einfallswinkels von etwa 10^{-3} unterscheiden können. Die Erscheinungen lassen sich als Interferenzen am Raumgitter deuten.

Bei dieser Sachlage ist es also bei gewissen Kristallen nicht ohne weiteres möglich, aus der Schwärzung der Photoschicht zuverlässige Rückschlüsse auf die Dicke plättchenförmiger Teilchen zu ziehen. Die Bestimmung der Dicke ist aber wichtig, weil erst mit ihr ein lückenloses quantitatives Bild über *alle* Abmessungen der übermikroskopischen Objekte gewonnen werden kann. Daher dürfte die in der folgenden Mitteilung[5]) beschriebene übermikroskopisch-stereophotogrammetrische Bestimmung der Teilchendicke besonders wichtig sein.

Berlin-Siemensstadt, Laboratorium für Elektronenoptik der Siemens & Halske A.G., den 21. Mai 1940. B. v. Borries. E. Ruska.

[1]) M. Knoll u. E. Ruska, Z. Physik **78**, 318 (1932) — B. v. Borries u. E. Ruska, Z. Physik **93**, 187 (1933).
[2]) E. Ruska, Z. Physik **87**, 580 (1934).
[3]) F. Kirchner, Ann. Physik **13**, 38 (1932).
[4]) H. Boersch, Ann. Physik (5) **26**, 631 (1936).
[5]) W. Eitel u. E. Gotthardt, Naturwiss. **28**, H. 23 (1940).

Über die stereophotogrammetrische Dickenmessung kleinster Kristalle nach übermikroskopischen Aufnahmen[1]).

Bei der übermikroskopischen Untersuchung von Kaolinen und Tonen war die Notwendigkeit deutlich geworden, durch Messung der Dicke der in diesen sich findenden tafeligen Kristalle des Kaolinits Zahlenwerte zur Bestimmung der Volumina und Mengen der einzelnen Größenfraktionen zu erhalten. Die röntgenographische Methode konnte für diesen Zweck nicht ausreichen, da sie nur *mittlere* Werte ergeben kann, hier aber die *individuelle* Dicke der Kristalle zu bestimmen ist. Als geeignetes Verfahren bot sich die stereoskopische Aufnahme und deren Auswertung nach photogrammetrischen Ansätzen; es wurde dabei das von E. Ruska[2]) im Prinzip angegebene und von M. v. Ardenne[3]) erstmals verwirklichte Verfahren der Aufnahme benutzt.

Da der Strahlengang des Übermikroskops anders verläuft als der lichtoptischer Geräte, können die bisherigen Formeln nicht ohne weiteres auf die hier vorliegende Aufgabe übertragen werden. Es wurden daher zunächst an einem hierfür besonders geeignet erscheinenden Objekt einige Voruntersuchungen durchgeführt. Sie erbrachten den Nachweis, daß die Formeln, die zur Bestimmung der Meßpunkte aus den Bildpaaren entwickelt worden waren, eine in erster Näherung richtige Darstellung der räumlichen Lageverhältnisse verbürgen.

Zur Vermessung lag eine Fraktion von Schnaittenbacher Kaolin vor, welche recht gleichmäßig ausgebildete Kaolinitkristalle von 0,1—1 μ Durchmesser enthielt; eine der stereoskopischen Aufnahmen ist in Fig. 1 wiedergegeben. Bei der Betrachtung im schwach vergrößernden Spiegelstereoskop erkennt man die meist glatte oder schwach chagrinierte Oberfläche der Kristalle. Durch Paralaxenmessungen mit verschiedenen Hilfsmitteln gelang es sodann, eine Reihe von Tiefenmessungen zu ermitteln. Die Ergebnisse der Tiefenmessungen, die sich im wesentlichen auf den Abstand sich überschneidender Kanten verschiedener Kristalle beziehen, sind in Fig. 1 eingetragen. Die Genauigkeit der Zahlenwerte wird weniger durch die der stereophotogrammetrischen Messung bestimmt, als vielmehr durch die Kantenschärfe des Objekts. Die hierdurch verursachte Unbestimmtheit des Raummodells kann zu Meßfehlern bis zu 20 mμ geführt haben. An Stellen dieser Bilder, an denen die Kantenschärfe gut war, gestattete das Verfahren jedoch die Erreichung einer Genauigkeit von etwa ± 5 mμ.

Da aus den Bildern nicht zu entnehmen ist, ob sich die Kristalle unmittelbar berühren, stellen die gemessenen Abstände von 20—100 mμ nur obere Grenzwerte für die Kristalldicke dar. Für die unmittelbare Dickenmessung wäre die deutlichere Sichtbarmachung der Kristallflächen durch Adsorption von Metallkolloiden zu erwägen.

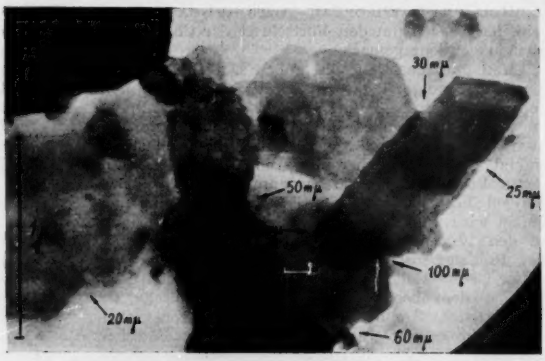

Fig. 1. III 456/40. Schnaittenbacher Kaolin. Elektronenoptisch 19000:1, Abbildung 32000:1. Aufnahme v. Borries.

Als Ergebnis der Messungen, über welche an anderer Stelle noch ausführlicher zu berichten ist, kann festgestellt werden, daß das photogrammetrische Verfahren, das in anderen Zweigen der wissenschaftlichen Photographie sich bewährt hat, auch für die übermikroskopische Methode sehr geeignet erscheint.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatforschung; Berlin, Institut für Photogrammetrie an der Technischen Hochschule; Berlin-Siemensstadt, Laboratorium für Elektronenoptik der Siemens & Halske A.-G., den 21. Mai 1940. W. Eitel. E. Gotthardt.

[1]) Diskussionsbemerkung von W. Eitel im Kolloquium des Kaiser Wilhelm-Instituts für Phys. Chemie u. Elektrochemie, Berlin-Dahlem, am 16. April 1940.
[2]) E. Ruska, DRP. 659092 vom 12. XII. 1934.
[3]) M. v. Ardenne, Z. Physik **115**, 339 (1940).

Besprechung.

FISCHER, HANS, und HANS ORTH, **Die Chemie des Pyrrols.** II. Band: Pyrrolfarbstoffe. 2. Hälfte. Bearbeitet von HANS FISCHER und ADOLF STERN. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. 1940. IX, 478 S. und 3 Spektraltafeln. 15 cm × 23 cm. Preis brosch. RM 31.—, geb. RM 33.—.

Mit dem Erscheinen dieses Buches ist die ganz groß angelegte „Chemie des Pyrrols" von FISCHER und ORTH abgeschlossen und stellt eines der stolzesten Dokumente der chemischen Weltliteratur dar. Ist doch auch in diesem Teil wieder der größte Teil von HANS FISCHER und seinen Schülern selbst erarbeitetes Forschungsgut, so daß die Darstellung des Gebietes in den berufensten Händen liegt. Der I. Band brachte die Ausgangsstoffe und Zwischenprodukte der Pyrrolreihe, die 1. Hälfte des II. Bandes die Abbauergebnisse und Synthese der Farbkomponente des Blutfarbstoffes, des Hämins, sowie der Gallenfarbstoffe; die 2. Hälfte des II. Bandes führt uns jetzt in die Chemie des Chlorophylls ein. „Die Konstitutionsermittlung der Chlorophylle auf analytischem Wege erscheint abgeschlossen. Auch durch Teil- und Totalsynthesen sind die wichtigsten Befunde erhärtet. Lediglich die Frage nach der Art der Verteilung der Doppelbindungen ist noch nicht restlos geklärt." Diese Sätze des Vorwortes zeigen, welch riesige Forschungsarbeit seit den grundlegenden Arbeiten von R. WILLSTÄTTER und seiner Schule am Chlorophyll geleistet worden ist, eine Arbeit, die sich natürlich weitgehend auf die Ergebnisse und die Methodik stützen konnte, die H. FISCHER und seine Schule bei der Aufklärung des Blutfarbstoffes gewonnen hatten. Aber auch viele andere Forscher, von denen ich nur J. B. CONANT, A. STOLL und E. WIEDEMANN sowie K. NOACK nennen will, haben sich um den Fortschritt der Chlorophyllchemie verdient gemacht.

Man muß den Autoren großen Dank wissen, daß sie sich schon jetzt zur Herausgabe des Chlorophyllteils entschlossen haben, obwohl „die Chlorophyllchemie noch in vollem Fluß" ist. Denn hinter den zum größten Teil gelösten Strukturproblemen stehen ja einige der biologisch wichtigsten Fragen überhaupt, deren Lösung durch die Zusammenfassung der bisherigen Forschungen wesentlich erleichtert und angeregt wird: die Bildung von Blut- und Blattfarbstoff in den Lebewesen und die Frage der Assimilation der Kohlensäure in den grünen Pflanzenteilen. Bei dieser ist die Rolle des Chlorophylls noch umstritten. Wie in dem besonders lesenswerten Kapitel „Zur Chemie der Assimilation" anschaulich entwickelt wird, gibt es seit Jahrzehnten bis heute Forscher, die dem Chlorophyll bei der Assimilation eine wesentlich physikalische Rolle der Gewinnung chemisch verwertbarer Energie durch Lichtabsorption zuschreiben, und andere, die außerdem noch an eine spezifisch chemische Rolle des Chlorophylls dabei glauben. Für die Aufklärung dieser wichtigsten organischen Reaktion ist deshalb die genaueste Kenntnis des Chlorophylls unerläßliche Voraussetzung.

Jedenfalls ist es in dem Zusammenhang überaus wichtig, aus den zusammenfassenden Anfangskapiteln über die Zusammensetzung und Konstitution von Chlorophyll a und b schon zu ersehen und später vielfach belegt zu finden, daß in den Chlorophyllen drei besonders reaktionsfähige Wasserstoffatome — außer dem charakteristischen Kohlenstoff-Fünfring — enthalten sind, die sie grundsätzlich von den Porphyrinen unterscheiden. Zwei davon stehen im Pyrrolring IV und eines im carbocyclischen Ring. Der Angelpunkt der Beweisführung ist der auch biologisch häufige Abbau der Chlorophylle zu dem Porphyrin Phylloerythrin und dessen Desoxoverbindung. Weiter steht der Nachweis einer 2-ständigen, sehr wandlungsfähigen Vinylgruppe auch in den Chlorophyllen, der Nachweis der optischen Aktivität und einer 3-ständigen Formylgruppe im Chlorophyll b im Vordergrund der Konstitutionsbestimmung für die beiden Chlorophylle.

Von den Hauptkapiteln des Buches, die anfangs einen guten theoretischen Gesamtüberblick vermitteln und dann auch handbuchmäßig alle experimentellen Daten bringen, mag folgende Übersicht kurz Bescheid geben:

Zusammensetzung sowie Konstitution von Chlorophyll a und b (S. 13—26).

Über Phäophorbid, Pyrophäophorbid und Chlorine. Auffindung eines Vinylrestes in 2-Stellung in Phorbiden, Chlorinen und neuen Porphyrinen des Chlorophylls. Nachweis der Vinylgruppe in 2-Stellung.
Nachweis der optischen Aktivität des Chlorophylls und oxydativer Spaltprodukte.

Über die Konstitution von Chlorophyll b (S. 27—40).

Nomenclatur der Phorbide, Chlorine, Purpurine, Rhodine und Chlorophyll-porphyrine. (Dieses wichtige Kapitel ist zweckmäßig schon vor Beginn der Gesamtlektüre durchzugehen.)

Körper des Phorbinsystems
Körper des Chlorinsystems
Körper des Porphinsystems
} S. 44—229.

Chlorophyll b (S. 234—304).

Allgemeines über Phorbide, Chlorine, Porphyrine der b-Reihe (S. 234—239).

Phäophorbide der b-Reihe
Körper des Chlorinsystems
Körper des Porphinsystems
} S. 240—304.

Bacteriochlorophyll und seine Derivate.

Protochlorophyll.

Methoden der Isolierung und Identifizierung sowie Reaktionen des Chlorophylls und seiner Derivate (S. 324 bis 337).

Die optischen Eigenschaften der Chlorophylle und ihrer Derivate (S. 338—363).

Zur Chemie der Assimilation (S. 364—388).

Biologische Abbauprodukte des Chlorophylls (S. 389 bis 340).

Imidoporphyrine (S. 403—419).

Porphinogene
Xanthoporphinogene
Ozonreaktionen der Porphyrine
Kondensationsprodukte der Pyrrole mit Isatin
} (S. 420—440).

In dieser Inhaltsübersicht könnten eigentlich die Kapitel S. 44—229 die zusammenfassende Überschrift „Chlorophyll a" tragen, die der später folgenden „Chlorophyll b" sinngemäß entspräche. Man kann sich in die Chlorophyllchemie nicht einlesen, ohne Nomenclatur-Orgien zu feiern; es ist aber H. FISCHER zu danken, daß das jetzt durch die Erkenntnis der Zusammenhänge wenigstens etwas vereinfacht ist.

Das Buch ist im Text wie in den hier unerläßlichen zahllosen Formeln mit größter Sorgfalt verfaßt und durchgesehen (Korrekturen: Fräulein Dr. PRUCKNER), so daß ich kaum Druckfehler angetroffen habe. Der einzige mir aufgefallene sinnstörende Fehler findet sich in der Formel S. 84.

RUDOLF PUMMERER, Erlangen.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: FRITZ SÜFFERT, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.